UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil

“Evaluación funcional de pavimento rígido tramo avenida Loja (Cuenca)”

Trabajo de titulación, previo a la obtención
del Título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

Ing. Jaime Asdruval Bojorque Iñeguez PhD.
C.I. 0102857885

AUTOR:

Cecilia Nazareth Puga Álvarez
C.I. 0105542575

Cuenca – Ecuador
2018

RESUMEN

El trabajo de titulación contiene una breve descripción de los tipos de pavimentos centrándose en todo lo referido al pavimento rígido, incluyendo los tipos de deterioros junto con las distintas estrategias para realizar una evaluación funcional del pavimento rígido, presentando el método del PCI con la normativa ASTM D6433 como método usado para el desarrollo del proyecto. Éste presenta una metodología completa para la evaluación y calificación objetiva del pavimento, permitiendo obtener una evaluación objetiva y realista de la calidad de viaje que se tendrá durante el paso del vehículo por la vía de estudio. Dentro del presente trabajo se determinó el estado superficial en que se encuentra el pavimento rígido de la avenida Loja tramo avenida de las Américas – avenida 10 de Agosto. Como resultado del trabajo se identificó y cuantificó los deterioros existentes conociendo su nivel de ocurrencia y severidad logrando obtener un índice de integridad y condición operacional de la avenida Loja, para el procesamiento de la información se emplearon dos métodos de análisis obteniendo las siguientes calificaciones: Tramo 1 avenida de las Américas – avenida Don Bosco: (Carril Derecho) *84* "*Muy Bueno*" – (Carril Izquierdo) 86 "*Excelente"*, Tramo 2 avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo: *46 "Regular*" y Tramo 3 avenida 1ero de Mayo – avenida 10 de Agosto: 62 "*Bueno*", anexo a esto se incorporó un registro fotográfico de los deterioros encontrados para una mayor comprensión de los lectores.

Palabras claves:

Índice de Condición del Pavimento (PCI), Evaluación Funcional, Pavimento Rígido, Rehabilitación.

ABSTRACT

This thesis project contains a brief description of the pavements types, focusing on everything related to rigidness of the pavement, including the types of deterioration together with the different methods to perform a functional assessment of rigid pavement, presenting the PCI method with the ASTM D6433 standard. This method presents a complete methodology for the evaluation and objective qualification of the pavement, this allows to obtain an objective and realistic evaluation of the trip quality that will be had during the vehicle passage through the studied route. The surfaces conditions of the rigid pavement of Loja Ave., Las Americas Ave. – 10 de Agosto Ave., were determined in this work. As a result of the investigation, the existing deteriorations were identified and quantified, knowing their level of occurrence and severity, obtaining an integrity index and operational condition of the Loja Avenue; To process the information, two methods were used, obtaining the following qualifications: Section 1 Avenue of Las Americas - Don Bosco Avenue: (Right lane) 84 "Very Good" – (Left lane) 86 "Excellent", Section 2 Don Bosco Avenue – 1ero de Mayo Avenue: 46 "Regular" and Section 3 1ro de Mayo Avenue - 10 Agosto Avenue: 62 "Good", attached to this evaluation was included a photographic record of the deteriorations found for a better understanding of readers.

Keywords:

Pavement Condition Index (PCI), Functional Evaluation, Rigid Pavement, Rehabilitation.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

.

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Cecilia Nazareth Puga Álvarez, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Evaluación funcional de pavimento rígido tramo avenida Loja (Cuenca)**", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre 2018

Cecilia Nazareth Puga Álvarez

C.I: 010554257-5

Cláusula de Propiedad Intelectual

Cecilia Nazareth Puga Álvarez, autor/a del trabajo de "**Evaluación funcional de pavimento rígido tramo avenida Loja (Cuenca)**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, octubre 2018

Cecilia Nazareth Puga Álvarez

C.I: 010554257-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi hijo Santiago José, por darme esa fortaleza para seguir adelante y luchar por mi superación.

A mis padres José y Martha, por todo el apoyo y confianza depositada en mí persona, por siempre estar presentes en cada experiencia llena de lágrimas, sonrisas y momentos que esta carrera me ha permitido vivir.

A mi abuelita Matilde aunque ya no la tenga conmigo sé que está muy orgullosa de mí por mis logros obtenidos, además agradecerle por su amorosa crianza llena de amor a Dios y al prójimo.

A mi abuelo Domingo Álvarez quien con su amor y poemas me enseñó lo hermoso de la vida.

A mi hermana Natalia, por ser un pilar fundamental en el desarrollo de mi vida como ejemplo de superación y motivación personal.

A mis familiares y amigos que me brindaron palabras de apoyo y me extendieron la mano a cada instante, gracias por el cariño y apoyo brindado. Dios los bendiga siempre.

Cecilia Nazareth Puga Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, me gustaría agradecer a **Dios** todopoderoso por darme sabiduría, constancia y dedicación para la realización de este proyecto que será un paso para mi vida profesional. Agradezco por cada detalle y momento que pude vivir durante mi preparación en esta carrera y trabajo de titulación, por cada día que me permitió no solo despertar, sino que me permitió continuar con salud, fuerza y rodeada de personas maravillosas que me permitieron creer en mí y crecer no solo como profesional sino como persona. Sin sus bendiciones, este logro no hubiese sido posible.

Mi sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal de Cuenca, en especial al Ing. Jaime Bojorque, por guiarme en el desarrollo de este proyecto además de su extraordinaria enseñanza a lo largo de mi formación.

A mi familia, mis padres, hermanos, sobrinos y principalmente a mi hijo les agradeceré eternamente por todo el apoyo brindado para el cumplimiento de esta meta.

Por último agradecerles a mis amigos leales que siempre me apoyaron a seguir adelante, a nunca bajar la cabeza por más difícil que se presente una situación, mil gracias a todos.

Cecilia Nazareth Puga Álvarez

Capítulo I
GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La construcción y mantenimiento de las vías han evolucionado según el desarrollo económico de las ciudades, en la actualidad su desarrollo se enfoca principalmente en conseguir un mayor tiempo de durabilidad y un nivel de servicio óptimo para el cual fue diseñado cumpliendo con los niveles de seguridad, permitiendo establecer una adecuada estrategia de tratamiento que aplicada en el pavimento sea rentable y su ciclo de vida mejore (Jiang, 2016), por esta razón la construcción de carreteras debe enfocarse como una inversión a largo plazo y como parte de la infraestructura de un país.

Este trabajo de titulación hace referencia al estudio de los deterioros de la avenida Loja (Cuenca), tramo avenida de las Américas – avenida 10 de Agosto el cual, basado en el resultado, podrá calificar la condición de la capa de rodadura del pavimento, seguido de una generación de alternativas para el mantenimiento y rehabilitación de la vía, tomando en cuenta que un sistema vial busca ser satisfactoriamente funcional, siendo un factor importante en el desarrollo socio–económico de la ciudad; se busca tener una adecuada planificación de la evaluación garantizando una mejor calidad de vida de los usuarios. Por ello, se necesita contar con una red vial eficiente, que signifique el avance de la ciudad tanto urbana como rural.

Dada la necesidad de mejorar el pavimento rígido de la avenida Loja, es preciso implementar la metodología del índice de condición del pavimento (PCI) a la vía en estudio. Cabe recalcar que es un método completo para la evaluación de los pavimentos, dicho índice está basado en la norma ASTM D6433, la cual busca identificar la clase, severidad y cantidad de fallas presentes en la vía además de comprender las causas que originan los deterioros mismo que pueden ser ocasionados por las cargas o factores externos, así como agentes erosivos que causan daño a los pavimentos. Además, se busca mantener un nivel de serviciabilidad aceptable en función directa del estado superficial y estructural del pavimento.

A través de la metodología del PCI se obtiene valores que establecen niveles de servicio, los cuales son ponderados en base a criterios relacionados al estado y funcionamiento de la vía, dando como resultado la situación real de la vía y permitiendo ejecutar el proceso de mantenimiento más adecuado.

Mantener las carreteras pavimentadas en un estado adecuado de servicio es cada vez más un problema serio e inevitable para los municipios. En general se observa la ausencia de un sistema de gestión vial, por esta razón es importante llevar a cabo este proyecto, para eso es necesario responder al interrogante ¿Cuáles son las causas de los daños en la estructura y en qué estado se encuentra según la metodología PCI.? Por lo tanto, se necesita establecer el estado actual del pavimento de la avenida Loja (Cuenca), con el fin de proponer la mejor alternativa de reparación y/o mantenimiento desde el punto de vista técnico y económico.

> *"El inventario de los daños de un pavimento representa una información fundamental en el proceso de evaluación del estado del pavimento. Al establecer los tipos de daños se pueden determinar las causas posibles y las soluciones para la condición de deterioro" (Vásquez, 2006).*

Ecuador ha atravesado una etapa de desarrollo en infraestructura de todo tipo, mediante inversión pública y privada distribuida en varios proyectos de construcción en los cuales se ha visto que tienen alternativas muy económicas y amigables con el medio ambiente con respecto a la construcción y mantenimiento de una red vial. Es por esto que el alcance del trabajo realizado, propone generar alternativas sostenibles y sustentables económicamente mediante la evaluación funcional del pavimento rígido de la avenida Loja.

1.2 HISTORIA

> "*La piedra fue uno de los primeros materiales con los que el hombre construyó los primeros caminos. Se estima que fue en el año 3000 a.C., que durante la Edad Media donde se formaron los primeros caminos con un suelo firme. Otro antecedente destacado son los caminos que realizaron los esclavos egipcios alrededor de las pirámides*" (Ponto, 2010).

Varias civilizaciones antiguas alcanzaron un alto nivel técnico en la construcción de caminos, siendo los egipcios los primeros en construir un camino hace 3000 años A.C. (Bilbao, 2014).

Los alcances más destacados en lo que se refiere a caminos lo comenzaron los romanos, siendo los primeros en construir el primer gran sistema de carreteras del mundo hace aproximadamente 220 años A.C. con una tecnología vial que no se conocía hasta entonces, durante el apogeo del Imperio romano muchos de estos caminos eran de piedra, en un principio se procuraba la colocación de grandes bloques (Bilbao, 2014) que se mantenían fijos, con el paso del tiempo este sistema mejoró se marcaban dos surcos paralelos separados 2.5 metros; se excavaba el espacio entre los surcos y se llenaban los huecos con distintos materiales en un orden de 4 capas, primero el *statumen* (grandes cantos rodados), segundo el *rudus* (cantos rodados de tamaño medio), tercero el *nucleus* (grava mezclada con cantos rodados) y por último el *pavimentum o summa crusta* (grandes losas planas), no obstante cada zona era diferente debido a que algunas necesitaban diferentes grosores en las capas por el tráfico que iban a soportar (Lafarga, 2009).

La *Figura 1* muestra las cuatro capas de un pavimento hasta llegar a un espesor muy fino terminando con una capa de piedra en la parte superior.

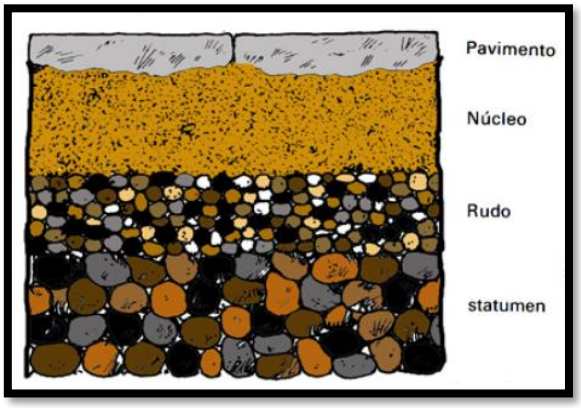


Figura N° 1. Estructura del pavimento en la antigüedad. *(Lafarga, 2009)*.

Para los romanos el *pavimentum* (pavimento) debía ser lo suficientemente duro y resistente, de estos dos factores dependía la calidad de la piedra que se usaba. Algunas calzadas eran lisas y pulidas y en otros casos la cazada estaba constituida por pavimento de grava que se apisonaba con grandes troncos o bloques de piedra para obtener una superficie uniforme y compacta (Lafarga, 2009).

En la construcción de los caminos romanos existía cierta anomalía ya que buscaban que las carreteras fueran eternas, los caminos se construyeron en línea recta, en algunos casos tomando la ruta más directa, es por esto que los ingenieros construían obras realmente complejas con complicados sistemas de circunvalación. Superaron retos de diferentes tipos los cuales hacían de cada proyecto una verdadera obra de arte dentro de la Ingeniería (Gallo, 2004).

Dentro de este sistema vial se ha podido encontrar que los romanos tenían una gran capacidad previsora y práctica, las aceras estaban por encima de la calzada, con el fin de evitar que los vehículos no sobrepasen el término de la calle e invadan las aceras que eran para uso de los peatones. Cada cierta distancia presentaba bloques de piedra ubicados de manera transversal que servían para el cruce de los peatones y evitaban que los vehículos circulen a grandes velocidades (Gallo, 2004).

A fines del siglo XVIII renace el interés por la construcción de carreteras, es por esto que en Francia durante la administración de Ponts et Chaussées (1743), se creó la escuela de ingenieros (1747), misma que permitió tener mayores estudios en las técnicas de construcción de carreteras. En esta escuela se encontró distintas soluciones con respecto al pavimento, por ejemplo el denominado pavimento de McAdam, creado por John Loudon McAdam (1756 – 1836), basada en una capa fina de caliza y arena, elementos que daban una suficiente consistencia a la superficie de la carretera (Gallo, 2004).
Durante este período el ingeniero francés Trésaguet (1716 – 1796), en 1764 propuso una manera diferente en lo que respectaba a la construcción de pavimentos, su idea consistía en utilizar piedra machacada como una primera capa base seguida de piedras más pequeñas, ya que consideraba

que el suelo era el que soportaría las cargas del tránsito, logrando que cuando pasaran los vehículos las piedras se atascaran entre sí, formando una superficie resistente.

A principios del siglo XIX se comienzan a pavimentar calles utilizando alquitrán en riegos. Las primeras mezclas con alquitrán in situ se extendieron en algunas calles de Londres, posteriormente, en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales**.**

En esos mismos tiempos en Inglaterra, los ingenieros Thomas Telford (1757 – 1834) y John Mc´Adam (1756 – 1836) proponen dos prototipos similares a los de Trésaguet con nuevas técnicas, sus propuestas se basaban en el uso y colocación de piedras largas cuidadosamente seleccionadas de gran tamaño, sobre estas colocaban otras capas de partículas de menor tamaño y como límites de estos caminos tenían piedras de tamaño más pequeño (Sabogal, 2016). Mc´Adam a su vez propuso el uso de polvo fino de piedra hasta formar una capa de rodadura densa e impermeable.

Dentro del desarrollo de la industria del petróleo, se comenzó a emplear betunes asfálticos, los mismos que fueron propuestos por el norteamericano Richardson estableciendo así una base de la tecnología de estas mezclas, mismas que son usadas en la actualidad.

Con estos desarrollos viales e industriales, desde 1890 se empezó a construir carreteras de concreto debido a la invención de vehículos a motor, que obligan a que las carreteras tengan ciertas características de amplitud, comodidad y seguridad (Bilbao, 2014).

Con estos avances se crean las primeras Leyes de Pavimentación; Inglaterra crea el Comisionado de Pavimentación dependiente del Parlamento del Reino Unido. En la segunda década de este mismo siglo, Vicat afirma que al mezclar caliza y arcilla molida, se obtiene una cal hidráulica, por lo que se puedo obtener la base para la fabricación del cemento Pórtland. En la actualidad esta técnica de construcción aún es considerada y usada, y ha servido de guía para la obtención de varios tipos de pavimentos.

Dentro de la historia se ha encontrado que el primer pavimento rígido se construyó en Bellefontaine, Ohio, en 1891, por George Bartholomew (Sabogal, 2016). Bartholomew fue un inventor estadounidense al que se le atribuye la invención del pavimento de hormigón. Bartholomew conocía todo sobre la producción del cemento y dentro de sus investigaciones logró encontrar fuentes puras de materia prima como arcilla y caliza, con estos materiales se dedicó a desarrollar un nuevo cemento para pavimento, encontrándolo y logrando tener un éxito con su invento. Sin embargo, al ser el primer pavimento rígido la ciudadanía le exigió que garantice su trabajo. Han pasado 100 años desde su construcción y se puede ver que parte de este pavimento sigue en uso con una sección ubicada en Court Avenue, Estados Unidos que continua pavimentada hasta hoy con la fórmula de Bartholomew (Delatte, 2008).

La construcción de este pavimento tuvo tal éxito que la Asociación Americana de Pavimento de Concreto (ACPA), acudió al pedido de la ciudadanía y optó por cambiar todo el bloque de las plazas por pavimento de concreto. Continuando con los avances que se dieron en el ámbito vial,

en 1916, la Asociación de Cemento Portland se organizó para promover el uso de cemento portland y concreto con la esperanza de que los ciudadanos se vinculen más con los pavimentos de hormigón (Delatte, 2008).

En 1921 se construye la Primera Gran Carretera del Mundo, por el ingeniero Piero Puricelli (1883–1951), un primer tramo que estaba formado por dos carriles con un diseño geométrico apropiado para una velocidad moderada y con un control total de accesos (Sabogal, 2016).

Con el paso del tiempo las vías formadas por pavimentos de piedra fueron cubiertas con capas de mezcla asfáltica, esto se debió a fallas y deterioros tanto en su estado funcional como estructural, por ejemplo, se vio afectada su durabilidad, capacidad de soporte para resistir cargas pesadas, sus refuerzos no soportaban un aumento de las cargas de tráfico, su capa de rodadura era incomoda y ruidosa. Otro factor que afecto de una manera paralela era su elevado coste de conservación.

Pruebas de Carreteras

Para evaluar un pavimento de concreto con un diseño apropiado, se tuvo que realizar numerosas pruebas a lo largo de los años, con esto se buscaba generar un modelo que perdure en un diseño y construcción de un pavimento, buscando que sea un modelo apto y fácil que un ingeniero pudiese usar.

Dentro de la historia del pavimento se ha encontrado que una de las primeras evaluaciones de pavimento de concreto que estuvieron controladas fue en el año de 1909 por el Departamento de Obras Públicas de Detroit.

La prueba a la que era sometido el pavimento consistía en la utilización de zapatos de acero y pesadas ruedas de hierro, las cuales amarradas a un poste se las hacia girar, simulando así el tráfico de los caballos y los vagones (Delatte, 2008).

Prueba de carretera de Bates

En 1916, se continuó construyendo pavimentos de concreto, durante 1912-1923, en Illinois se realizó la prueba de carretera de Bates con el fin de determinar el mejor material para la elaboración de vías, esta prueba fue aplicada a diferentes secciones del pavimento construido con diferentes materiales y distintos espesores, las mismas que fueron puestas a pruebas de resistencia donde usaron camiones de la Primera Guerra Mundial. Hasta 1922, se habían construido muchos pavimentos sin juntas y una sección central engrosada debido a que no se tenían un diseño establecido para evitar la formación de una grieta longitudinal errática (Delatte, 2008).

Sobre la base de los resultados de la prueba de carretera de Bates, se adoptaron las juntas centrales para eliminar el agrietamiento longitudinal (Delatte, 2008). Además la prueba de

carretera o de Bates proporcionó datos básicos que fueron utilizados para el desarrollo del primer procedimiento de diseño de espesores (Fórmula de Older) (Sabogal, 2016).

La *Figura 2* se muestra una de las secciones construidas para la prueba de resistencia de Bates.

La *Figura 3* se muestra una de las 17 secciones de asfalto a las que se aplicaron cargas de resistencia en la prueba de Bates.

Figura N° 2. **El Bates Road Test.** Se construyó en 1920 con más de 63 secciones de prueba (32 PCC) *(ACPA, 2016).*

Figura N° 3. **Bates Road Test**. Se construyó en 1920 con más de 63 secciones de prueba (32 PCC) *(ACPA, 2016)*.

Prueba de carretera de Pittsburg

La prueba de carretera de Pittsburg, California de 1921-1923 comparó el pavimento de hormigón armado con el hormigón plano, buscaba determinar que los pavimentos con refuerzo presentaban un comportamiento más apto que los pavimentos de concreto simple, para esto se usaron camiones del ejército con neumáticos sólidos que atravesaban las losas de distintos espesores y

niveles de refuerzo. Esta prueba no dio ninguna ventaja particular al refuerzo, pero los pavimentos de prueba se construyeron sin juntas y no reflejaban la práctica moderna.

La *Figura 4* muestra los circuitos de prueba que fueron construidos fuera de la carretera de Pittsburg. Mientras que en la *Figura 5* se muestra los camiones de ejército que se usaron para atravesar las losas instrumentadas.

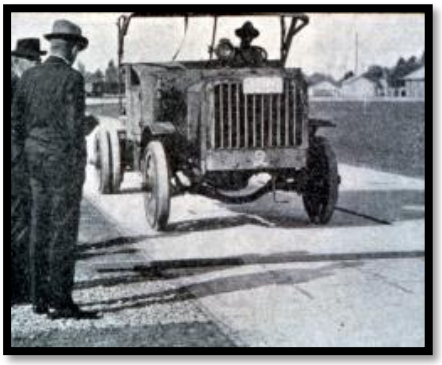


Figura N°4. **Pittsburg Test Road**. Camión de prueba que se acerca al tablero de impacto *(ACPA, 2016)*.

Figura N° 5. **Pittsburg Test Road**. Los camiones excedentes del ejército se usaron con neumáticos sólidos para atravesar las losas instrumentadas *(ACPA, 2016)*.

En 1950 y 1951, la oficina de carreteras públicas, el comité de investigación de la autopista, fabricantes de camiones y otras industrias relacionadas con la vialidad realizaron pruebas en una carretera al sur de Washington D.C., la cual fue inventariada, instrumentada y atravesada cuidadosamente por 1.000 camiones al día.

Los resultados de esta prueba mostraron el valor de la buena transferencia de carga entre las losas, los efectos de la velocidad y los problemas causados por el bombeo (Delatte, 2008).

Esta prueba de carretera evaluó una sección que constaba de dos carriles con un pavimento construido en 1941, cuya estructura constaba de losas reforzadas con malla de alambre (Delatte, 2008).

Todos estos estudios fueron realizados bajo una simulación la cual consistía en aplicar cargas de tráfico lo suficientemente pesadas para así poder simular en una carretera una vida de tráfico en poco tiempo, aunque en el aspecto físico se consiguió el objetivo planteado, pero tuvieron ciertos inconvenientes en el aspecto ambiental ya que esto no era una condición manipulable.

Prueba de carretera de Maryland

En la prueba de carretera de Maryland, se estudió el efecto de dos configuraciones de ejes, cada una con 2 cargas diferentes sobre el pavimento rígido, con esta prueba se encontró que el bombeo

era mayor en las juntas de expansión (Delatte, 2008), además provocó mayores deflexiones en las esquinas de las losas, el agrietamiento aumentó con la magnitud de la carga (Sabogal, 2016).

En la *Figura 6* se muestra uno de los camiones de 2 configuraciones de ejes que se utilizó en la prueba de carretera de Maryland.

Figura N° 6. **Maryland Road Test**. Camión de 2 configuraciones de ejes, cada una con 2 cargas diferentes *(Sanchez, 2014)*.

Prueba de carretera AASHO

La prueba de carretera AASHO se realizó de 1958 – 1960, fue una de las secciones de prueba más ambiciosas y analizadas (ACPA, 2016), se llevó a cabo cerca de Ottawa, Illinois.

Esta prueba tuvo como objetivo analizar los diferentes comportamientos de las estructuras del pavimento sometiéndolas a varias combinaciones de ejes, con cargas en movimiento, distintos espesores de asfalto y concreto y en distintas magnitudes y frecuencias para poder obtener resultados y tendencias del rendimiento del pavimento logrando así una equivalencia de daño entre cargas por eje (Sanchez, 2014).

Según *Pasko (1998):*

"En la prueba de carretera AASHO, hubo dos modos de falla distintivos para pavimentos de concreto. Los pavimentos muy delgados fallaron con el bombeo de borde continuo que causó el agrietamiento del borde que se unió en una fisura en el borde longitudinal. Los pavimentos más gruesos fallan por el bombeo de las articulaciones que causaba el agrietamiento transversal, comenzando particularmente en el lado izquierdo de las articulaciones" (Delatte, 2008).

"A pesar de que los datos de AASHO son los mejores, difícilmente predice la falla del grosor del pavimento que se está construyendo (más de 8 pulgadas). Además, en la prueba de carretera, no hubo perforaciones (fallas por cizalladura) como las producidas en prueba de carretera de Pittsburg bajo ruedas de acero, ni hubo otros

tipos de galas ambientales, tales como explosiones, punchouts de CRCP, etc.", (Delatte, 2008).

Los resultados obtenidos en esta prueba significaron un desarrollo fundamental en el diseño estructural y comportamiento de los pavimentos.

En la *Figura 7* se muestra una de las seis pistas que se construyó para la prueba de carretera AASHO.

Figura N° 7. **AASHO Road Test**. Pista de ensayo sometida a tránsito controlado *(ACPA, 2016)*.

Dentro de la cronología de caminos de concreto se tiene que en el siglo XX, con el pasar de los años se fue implemanetando el uso de pavimentos de concreto hidráulico, de igual manera se comenzó la construcción de aeropuestos con pistas de concreto (Brito, 2011).

En América del Sur, se desarrollaron grandes redes viales en países que presentan al menos 20 años de experiencia en la construcción de pavimentos rígido. En cuanto a la historia del pavimento en el Ecuador se creó el Ministerio de Transporte y Obras Públicas el 15 de enero del 2007, con el interés de que Ecuador participara en circuitos globales de transporte. En 1997 Ecuador alcanzaba solo el 19% de carreteras pavimentadas (Brito, 2011), las mismas presentaban daños severos, ya sea por el mal uso de la infraestructura vial, la sobrecarga que proporcionan los vehículos afectando así la resistencia del pavimento, quedando como resultado una serie de deterioros.

Una de las causas a estos deterioros se debió a *"la mala calidad de los asfaltos que se colocaban y que tenían que ser arreglados cada año"* (Brito, 2011)*;* además se atribuye los deterioros a factores climáticos, exceso de carga vehicular, mal diseño de la resistencia del pavimento. Estos factores influyen en la vida útil del pavimento así como, en el servicio que prestan al público generando molestias, tráfico e incomodidad.

Actualmente, se han desarrollado varios proyectos viales que han generado un mayor desarrollo para los ecuatorianos sobre todo en el campo económico y turístico, logrando mantener las carreteras pavimentadas en un adecuado estado de servicio. Esto ha motivado al desarrollo de una serie de procedimientos de evaluación, gestión y rehabilitación de pavimentos que permitirán un desarrollo técnico y económico integrado para los municipios (Chinguel, 2014).

1.3 ANTECEDENTES

Desde la creación de las carreteras y vehículos se ha visto la necesidad de buscar soluciones a la demanda de contar con caminos duraderos y resistentes al desgaste producido por el tráfico y las condiciones climáticas, con el objetivo de lograr una ampliación de la red vial bajo estándares de calidad. Esto ha generado la necesidad de contar con un manual práctico que permita comprender y analizar los estudios que se han realizado dentro de una evaluación de pavimentos (Machuca, 2014).

Existe una gran variedad de evaluaciones orientadas para comprender el comportamiento de los materiales usados en la construcción de pavimentos, con el fin de prever las posibles causas de los deterioros. Este trabajo pretende evaluar la capa de rodadura de la avenida Loja a través de un inventario de daños por medio de la metodología del PCI para establecer alternativas para futuras obras de mantenimiento.

Hasta el momento se desconoce que el pavimento rígido de la avenida Loja haya sido evaluado técnicamente, por lo que no se tiene una base de datos que sirva como guía para establecer una comparación con el estudio que se realizará, sin embargo, se han realizado estudios similares en el Ecuador, basados en la metodología del PCI y toma de decisiones para el tratamiento de pavimentos. Estos estudios han brindado una guía para que la evaluación realizada en el presente trabajo sea lo más eficiente posible y apegada a la realidad.

1.4 PROBLEMÁTICA

El ingreso a la ciudad de Cuenca por la avenida Loja está formado por pavimento rígido, sin embargo se observa el tramo avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo con un mayor deterioro y un proceso de colapso tanto estructural y funcional. Esto se debe a que la avenida Loja es una de las principales arterias viales de la ciudad que conecta la parte sur con el centro de la ciudad.

No se puede hablar de una causa única del deterioro debido a que las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores además de que no se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro es mayor y no solo requiere un mantenimiento correctivo, sino todo lo contrario cuando se necesita un reemplazo total de la losa (Velasquez, 2009). Algunas de las causas son falta de control de calidad en el proceso constructivo, exceso de carga y un escaso programa de mantenimiento, originando deterioros en toda la vía, mismos

que pueden observarse a simple vista por ejemplo: grietas de esquina, grietas lineales, parcheos, bombeo, entre otros.

La avenida Loja es una vía que no ha recibido un correcto mantenimiento debido a que en la actualidad está siendo utilizada como vía de desfogue de tráfico para otras obras que se realizan en la ciudad, al cumplir esta función se ha provocado un mayor deterioro del pavimento siendo una posible causa el exceso de carga de tránsito y en un tramo considerado haber cambiado a doble sentido para un mayor flujo vehicular, por esta razón se necesita aplicar un método sencillo y objetivo, que permita detectar y priorizar las necesidades para la conservación de la vía.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Dentro de una evaluación del pavimento se debe tomar en cuenta el tipo de diseño, el tipo de pavimento, tipo de tráfico vehicular, período de diseño, entre otros, para optimizar recursos de los pavimentos desde el punto de vista técnico y económico.

Este trabajo de titulación ayudará a la revisión de los deterioros presentes en la avenida Loja y generar alternativas para el mejoramiento del pavimento, lo que significa un avance en el desarrollo de la red vial, regional y local, ya que la infraestructura vial es un indicador predominante en el desarrollo económico y de bienestar de un país (Machuca, 2014).

El presente trabajo plasmará un análisis detallado de las causas que pueden influir en el deterioro del pavimento, mismas que serán de gran ayuda para la planificación de mejoras en los programas de mantenimiento. Las autoridades locales deben contar con información actualizada de la situación de las vías, en base a investigaciones y estudios como éste, que servirán de base para una futura toma de decisiones por parte de la municipalidad de Cuenca, dentro de estas decisiones estarían opciones como reparar o renovar los tramos del pavimento rígido de la avenida Loja, de acuerdo al resultado obtenido del índice de condición de pavimentos (PCI) el tipo de patologías identificadas, indicarán el grado de afectación que cada combinación de deterioros, nivel de severidad y densidad tiene sobre la capa de rodadura del pavimento rígido.

El proyecto se justifica por la necesidad de conocer el estado actual del pavimento rígido de la avenida Loja, la metodología del PCI definirá el nivel de servicio y el tipo de tratamiento que se deberá realizar, este proceso es fundamental para abaratar costos y mejorar el nivel de servicio, puesto que un manejo inadecuado de los pavimentos; sobre todo en la sistematización, optimización y priorización, tendrá un resultado negativo. Con esta metodología se tendrá mejores argumentos, precisión en los datos y en la toma de decisiones en lo que el pavimento requiera intervención, determinando así soluciones a los deterioros y problemas encontrados en el campo de acción con las evidencias encontradas (Peñaloza & Calle, 2017); ((Rodríguez, 2016).

1.6 OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar una evaluación funcional del pavimento rígido, ubicado en la avenida Loja tramo avenida de las Américas – avenida 10 de Agosto, mediante el método del PCI, la misma que servirá para la evaluación y calificación del estado del pavimento; generando alternativas de rehabilitación.

Objetivos Específicos

1. Efectuar la evaluación superficial de pavimento rígido, a través de la recolección de datos, siendo como base principal una inspección visual del pavimento, para logar definir los deterioros más severos.

2. Identificar los deterioros o fallas del pavimento, que serán materia de evaluación específicamente en relación a las características físicas de la calzada y su superficie de rodadura.

3. Clasificar los tipos de deterioros observados a fin de generar alternativas de rehabilitación y mantenimiento para el pavimento analizado.

1.7 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

El pavimento es un conjunto de capas superpuestas de material seleccionado y adecuadamente compactado. Esta estructura estratificada recibe en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar adecuadamente ante el paso del tránsito durante el período para el cual fue diseñado el pavimento (Fonseca, 2002).

La organización de los Estados Americanos, a través de su organismo técnico "Congresos Panamericanos de Carreteras" define al pavimento en (Corredor, 2004):

Definición Estructural

"La superestructura de una vía, construida sobre la subrasante, y compuesta normalmente por la subbase, la base y la capa de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno, distribuyéndolos en tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales, así como proveer una superfice lisa y resistente para los efectos de tránsito".

Definición Funcional

"La parte superior de una carretera, pista de aterrizaje, o estacionamiento y cuyo objetivo es servir al tráfico de una manera segura, cómoda, eficiente, permanente y económica".

El objetivo de un pavimento es brindar una estructura sostenible y económica que permita la circulación de los vehículos de una manera cómoda y segura, durante un período fijado por las condiciones de desarrollo (Machuca, 2014), la función de un pavimento, es proveer una superficie de rodamiento segura y adecuada al tránsito.

En el estudio de los pavimentos se tiene claro que los esfuerzos decrecen con la profundidad, es por esto que se busca colocar los materiales de mayor resistencia en la parte superior, dejando los materiales de menor resistencia y más económicos en las capas inferiores aprovechando que se encuentran en la naturaleza lo que facilita su uso y costo como facilidad de trabajo en lo que respecta a la puesta en obra.

Las condiciones que debe cumplir un pavimento para un correcto funcionamiento son: un adecuado diseño de anchura, diseño vertical y horizontal, una resistencia adecuada para las cargas de tráfico evitando deterioros futuros, debe tener una buena visibilidad (Camposano & García, 2012).

En el diseño de un pavimento se debe tener en cuenta un factor económico basado primordialmente en el espesor de la capa con el fin de lograr un espesor mínimo, el cual a su vez reducirá los esfuerzos sobre la capa inferior; por lo que a mayor espesor mayor será el costo del pavimento. Un adecuado diseño cumple con todas las condiciones establecidas por la norma en general y dependerá del lugar donde será construido, sin embargo el principal objetivo del diseño de un pavimento es calcular un espesor necesario que garantice la solvencia de la obra con un costo inicial bajo y garantizando que su mantenimiento y rehabilitación serán mínimos conservando un pavimento es óptimas condiciones durante la vida útil para el que fue diseñado.

Básicamente la resistencia depende del suelo natural, sin embargo, en algunas ocasiones se usa únicamente como superficie de rodadura (Bilbao, 2014), por esta razón la resistencia de las capas del pavimento depende del material que lo compone, a pesar de esto el método que se utiliza durante la construcción tendrá una importante influencia, por lo tanto el pavimento requiere una buena compactación y curado para lograr que el efecto de las cargas no produzca deterioros a corto plazo.

Serviciabilidad

La serviciabilidad de los pavimentos, es la calificación que tienen los usuarios sobre el nivel de servicio de un pavimento. Es por esto que la opinión del usuario debe ser considerada como una pequeña evaluación de la superficie de rodadura sobre la calidad de viaje que experimentan los usuarios.

La serviciabilidad de los pavimentos ha sido representada en un índice, derivado de los resultados de la prueba AASHO, en la cual se realiza la evaluación mediante una escala que varía de 0 a 5, siendo 5 el valor para pavimentos con una superficie perfecta y 0 para un pavimento con una superficie en malas condiciones (Salinas, 2009).

1.8 TIPOS DE PAVIMENTOS

Existen diferentes tipos de pavimentos, sin embargo presentan dos características principales (Delatte, 2008):

- Resisten cargas de tráfico a través de la flexión del concreto, es decir, controlan grietas.
- Los pavimentos rígidos se contraen debido a efectos térmicos por lo cual esto debe ser tratado, es por esto que diferentes tipos de pavimentos utilizan juntas, acero de refuerzo o ambos.

El pavimento es una superficie exterior utilizada para la circulación de los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales, con el objeto de distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén.

Para definir los tipos de pavimentos se debe tener en claro que el pavimento es una estructura para una duración dada, bajo las cargas de tránsito y el medio ambiente. Los pavimentos dependen de los materiales, los espesores de las capas, procedimientos de construcción y acciones de mantenimiento que son factores que van a determinar un buen comportamiento (González & Lozano, 2005).

Al hablar de pavimentos se los puede dividir en dos tipos:

a) **Pavimentos Flexibles (asfalto)**
b) **Pavimentos Rígidos (concreto)**

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado esfuerzos muy bajos en la subrasante. Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores esfuerzos en la subrasante.

1.8.1 Pavimentos Flexibles

Pavimento flexible es aquel cuya superficie de rodamiento está constituida por una mezcla asfáltica. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante. Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y subbase. No

obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra (Fonseca, 2002).

En la *Figura 8* se muestra las capas que forman de un pavimento flexible.

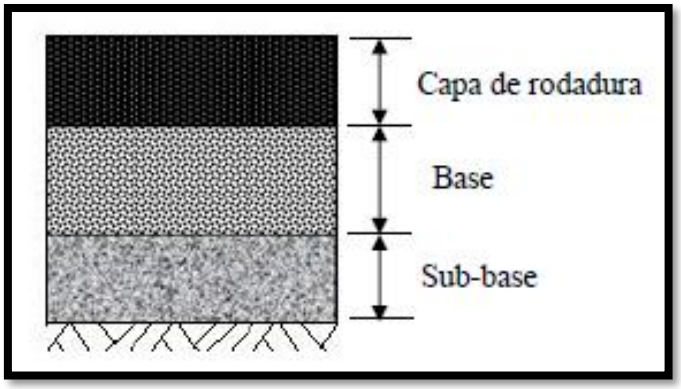


Figura N° 8. Capas del pavimento flexible *(Bilbao, 2014)*.

Son capaces de resistir un cierto nivel de deformación elástica sin romperse. La superficie de rodamiento es proporcionada por una mezcla asfáltica, la transmisión de esfuerzos generados por las cargas vehiculares se hace de acuerdo a las características mecánicas de los materiales con que se construyen las diferentes capas del pavimento.

Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la subrasante, su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión (Board, 1998).

Se puede señalar que algunos pavimento que tienen la superficie de asfalto pueden tener un comportamiento similar a los pavimentos rígidos, por ejemplo, en pavimentos asfálticos con una capa de rodadura muy gruesa o donde su base está compuesta por agregados tratados con asfalto (IMCYC, 2017).

De este modo, el pavimento clásico flexible comprende en primer lugar a aquellos pavimentos que están compuestos por una serie de capas granulares rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad relativamente delgada (IMCYC, 2017).

Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de la fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa (Rebolledo, 2010).

En la *Figura 9* se muestra una sección transversal de un pavimento flexible cuya estructura muestra que los pavimentos flexibles podrán deformarse pero en general no se rompen.

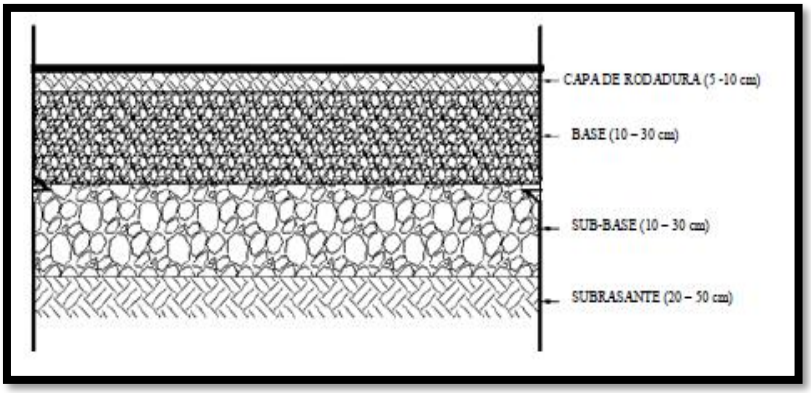


Figura N° 9. Sección transversal de un pavimento flexible *(Bilbao, 2014)*.

Los pavimentos flexibles no tienen una durabilidad extensa como los pavimentos rígidos, su vida útil está entre los 10 y 15 años, contando con un mantenimiento mayor. La superficie del pavimento flexible se ve afectado frecuentemente por baches, hundimientos; en el ámbito de la resistencia este tiende a disminuir en lugares de climas con temperaturas elevadas y en lugares de climas húmedos su superficie pierde textura de manera rápida. Este tipo de pavimento causa en mayor parte daño a los vehículos. Requiere sistemas de drenaje adecuadas debido a que puede retener mayor cantidad de agua (Rodriguez, 2011).

En la *Figura 10* se muestra un ejemplo de un pavimento flexible.

Figura N° 10. Ejemplo de pavimento flexible.

1.8.2 Pavimentos Rígidos o Hidráulicos

Los pavimentos rígidos o hidráulicos son aquellos que están formados por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase, además se ven afectados considerablemente por los cambios de temperatura. La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de hormigón

hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores (Rebolledo, 2010).

En la *Figura 11* se muestra la estructura de un pavimento rígido.

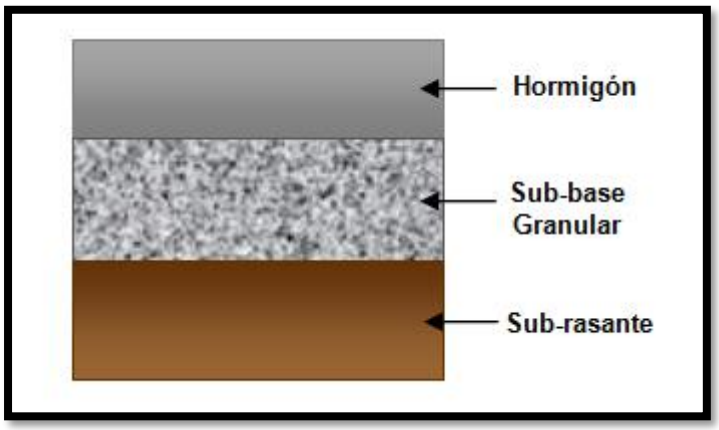


Figura N° 11. Sección transversal y vista en planta de un pavimento rígido *(Salas, 2016)*.

El pavimento rígido posee un elevado coeficiente de elasticidad, es capaz de resistir esfuerzos a tensión con una cierta tolerancia, su comportamiento es satisfactorio en zonas débiles de la subrasante, la resistencia de un pavimento rígido depende de su rigidez por lo que su espesor debe ser proporcional a la influencia del esfuerzo en la capas subyacente (Fonseca, 2002).

Por su rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losa y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural (Rebolledo, 2010).

El pavimento rígido en ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible, su periodo de vida útil varía entre 20 a 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo; usualmente se efectúa en las juntas de las losas (Cote & Villalba, 2017).

Las principales características son:

- Presenta mayor resistencia mecánica y a la abrasión y resistencia al deslizamiento.

- Posee mejores características de drenaje superficial, prácticamente sus capas son impermeables, ayudando a que las estructuras de drenaje sean mucho más simples. Su capa de rodadura se mantiene casi integra sin ser afectada por la intemperie (Rodriguez, 2011).

Según (ICPA, 2010):

- En lo que se refiere a costos los pavimentos rígidos tienen un costo inicial normalmente mayor o igual al de los flexibles, sin embargo, en el costo final considerando su período

de vida útil resulta altamente ventajoso cuando en el análisis se incorporan los costos de mantenimiento y conservación, debido a que la capa de rodadura se mantiene, básicamente la estructura se conserva.

- Por su color claro, permite una mayor reflexión de la radiación solar, reduciendo la temperatura media del ambiente en los conglomerados urbanos.
- Su elevada durabilidad incide de manera significativa en el plano sostenible, ya que al verificar que el impacto generado por la fase constructiva de un pavimento de hormigón se ve de cierta manera nulo a lo largo de todo el período de vida en servicio.
- Permite distribuir la carga aplicada en mayores superficies, para suelos con baja capacidad de soporte y para pavimentos con tráfico pesado.
- No se produce el ahuellamiento por la acción repetitiva de cargas de tránsito, por lo tanto se disminuye el riesgo de deslizamiento y pérdida de control del vehículo.
- El hormigón no fluye plásticamente, resultando ideal para zonas de giros, de aceleración y de frenado.
- Posee una amplia gama de terminaciones y colores, que permite mejorar es aspecto externo de la vía combinando la estética y la alta durabilidad del hormigón, con menores costos y mayor rapidez para su construcción.

1.8.2.1 Tipos de Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos constan de un pavimento formado por una losa de hormigón, apoyada sobre diversas capas, algunas de ellas estabilizadas.

Los tipos de pavimentos son los siguientes según (UPLA, 2014):

1. Pavimento rígido simple con juntas
2. Pavimento rígido reforzado con juntas
3. Pavimento rígido reforzado continuo
4. Pavimento rígido con hormigón presforzado
5. Pavimento rígido de hormigón fibroso

1. **Pavimento rígido simple con juntas**: No llevan acero de refuerzo ni barras de transferencia de cargas en las juntas, por lo general están formados por losas cortas. Este tipo de pavimento se utiliza para un volumen de tráfico de mediano a bajo. Básicamente es concreto.

2. **Pavimento rígido reforzado con juntas:** Está formado por losas unidas mediante juntas, las mismas que evitan fisuras debido a la retracción del hormigón. También se usan pasadores de acero para asegurar una correcta transmisión de esfuerzos al pavimento debido a las cargas del tránsito.

3. **Pavimento rígido reforzado continuo:** Se construye sin juntas de contracción. Muy resistente, aunque también excesivamente caro, por lo que se usa para tráfico pesado. Plantea pocos problemas de conservación y mantenimiento. Debido a su continuo contenido de acero en dirección longitudinal, desarrolla fisuras transversales a intervalos

muy cortos. Presenta transferencia de cargas por su refuerzo en las caras de las fisuras (Rebolledo, 2010).

4. **Pavimento rígido con hormigón presforzado:** Constituidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Un pavimento de hormigón presforzado con tendones de acero someten a compresión a la losa permitiéndola reducir considerablemente su espesor y aumentar su longitud llegando a una longitud de más de 120 metros.

5. **Pavimento rígido de hormigón fibroso:** Poseen un armado de fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio. Este tipo de pavimento aumenta la resistencia a la tensión y fatiga, durabilidad, fisuración controlada y resistencia al impacto. (Rebolledo, 2010).

Los pavimentos rígidos, por su resistencia alta, y los requerimientos de mantenimiento más reducidos en términos comparativos los hacen muy competitivos. Ello se demuestra y se documenta con desempeños históricos de pavimentos en todo el mundo (Rodriguez, 2011).
En la *Figura 12* se muestra un ejemplo de pavimento rígido.

Figura N° 12. Ejemplo de pavimento rígido.

Capítulo II
EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO

En este capítulo se establecerá los conceptos necesarios para la evaluación del pavimento del presente trabajo de titulación, donde se realizará una evaluación funcional que utiliza como principal guía para el método de la norma ASTM D6433, la misma que trata sobre el "Índice de la Condición de Pavimento" (PCI).

La evaluación de un pavimento, se refiere a la calificación de la capa de rodadura y la cuantificación de los deterioros que se encuentran en la vía, con la finalidad de obtener datos de la condición del pavimento a fin de generar soluciones a los deterioros y planes de rehabilitación sostenibles.

Se considera que la evaluación se realiza siguiendo el procedimiento establecido por las correspondientes normas, teniendo en cuenta las condiciones locales para obtener resultados sobre las condiciones funcionales y estructurales del pavimento en estudio (Morales, 2012). Una evaluación de la condición actual de los pavimentos ha sido y continuará siendo un mecanismo importante para mantener un adecuado nivel de servicio; el cual relaciona la integridad estructural de un pavimento con la comodidad de manejo de los usuarios viales (Bojorque, Ávila & Albarracín, 2015).

En general, una evaluación es una decisión difícil sobretodo en cómo y cuándo hacer un mantenimiento o rehabilitación que sea rentable, esta decisión se basará en toda la información obtenida mediante estudios sobre el estado actual del pavimento que se refiere a su condición, donde representa el nivel de degradación como resultado de un proceso de deterioro, tales como deformaciones, irregularidades, deflexiones, resistencia del pavimento, etc. (Morales, 2012), es por estas razones que se han propuesto tres formas de evaluación: Evaluación Funcional o evaluación de la serviciabilidad, Evaluación Estructural y Evaluación Visual del pavimento (NCHRP, 1994).

Mediante una inspección visual de la vía se obtiene un punto de vista del estado y condición de la capa de rodadura, permitiendo tener una ligera idea de la condición real del pavimento durante el tiempo de servicio. El proceso de deterioro del pavimento es lento al principio y al estar cerca de culminar su vida útil es más rápido su desgaste, definiéndose como una "exponencial" del deterior de los pavimentos (Morales, 2012), por esta razón es de gran importancia un mantenimiento preventivo o una rehabilitación, por lo que se requerirá un mantenimiento temprano, preventivo y en caso de necesitar una rehabilitación esta debe estar basada en el beneficio de los usuarios y dependerán de las estrategias presentadas y llevadas a cabo.

Una vez obtenida toda la información de la condición del pavimento, la toma de decisiones debe ser objetiva y precisa con respecto a las actividades de mantenimiento y rehabilitación. Para analizar las consecuencias de las decisiones a tomar resulta necesario conocer el volumen de tráfico, clasificación y cargas de los vehículos, datos climáticos, infraestructura física, materiales componentes, espesores de las capas, estado superficial actual de la vía, estado funcional y

estructural, curvas de deterioro para estimar el comportamiento futuro, el clima, y los costos unitarios asociados al usuario y al mantenimiento (Morales, 2012).

Si se considera las metodologías de tiempos anteriores dentro de la medición del estado de un pavimento se podrá observar que se recurría a procesos destructivos, lo que altera la estructura del sistema pavimento–subrasante, sin embargo, con el avance de la tecnología o los llamados instrumentos de última generación que usan técnicas de ensayo de alto rendimiento (procesos no destructivos), han logrado mejorar la exploración, rendimiento y comportamiento actual de las vías sin causar daños al pavimento, usando equipos y herramientas tecnológicas, tanto en el campo funcional como estructural (Bojorque, Ávila & Albarracín, 2015).

Con los nuevos métodos se ha logrado obtener soluciones de uso directo permitiendo establecer adecuadas técnicas de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción del pavimento.

La finalidad de una evaluación de pavimento trata de la relación que existe entre la condición del pavimento y calidad del mismo al tener diferente comportamiento, principalmente si es evaluado por los usuarios, por lo tanto se necesita tener una evaluación funcional de la vía que sea objetiva y cubra todas las necesidades y expectativas de los usuarios a través de un método de rehabilitación adecuado (Vásquez, 2015). Las metodologías para ejecutar levantamientos de este tipo tienen como base las mediciones o verificación de la presencia de defectos, que aparecen en la superficie de los pavimentos (Morales, 2012).

2.1 IMPORTANCIA DE UNA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO

Un sistema de gestión de pavimentos para vías requiere un sistema de evaluación de la condición de dichas estructuras, que tiene como base fundamental proporcionar datos que alimentarán a cualquier sistema de administración de la conservación vial; colaborando con métodos y/o formas de mantenimiento y rehabilitación que van dirigidas al confort de los usuarios en el uso de las vías de la ciudad, por lo general, es un proceso que determina condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos (Morales, 2012).

La evaluación de pavimentos es importante, pues permite conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar correcciones adecuadas, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima. Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. La evaluación de pavimentos, también permite optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

2.2 OBJETIVOS DE UNA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO

- Generar un sistema de administración y/o de gestión de pavimentos rígidos que proporcionarán datos útiles a las dependencias involucradas con la evaluación y conservación de los pavimentos.

- Evaluar la capacidad de resistencia del pavimento frente a las cargas de tránsito y temperaturas cambiantes. Se busca evaluar el grado de aceptación que genera el pavimento desde un punto de vista de los usuarios con respecto a su comodidad y seguridad.
- Optimizar la inversión económica en mantenimiento y rehabilitación, alargando la vida útil del pavimento (Morales, 2012).

2.3 CARACTERÍSTICAS DE UNA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO

- Determinar un método permanente para poder detectar los daños de manera temprana y de igual manera tener opciones inmediatas tanto preventivas como correctivas.
- Poder distinguir entre deterioros causados por el tránsito y los causados por la falla de los materiales utilizados en la estructura, lo cual causa la reducción de la capacidad del pavimento.
- Considerar el deterioro de bombeo en juntas y grietas, debido a que nos indica un mal diseño del drenaje para el pavimento.

2.4 TIPOS DE EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO

Existen varios métodos para efectuar una evaluación o estado de la superficie del pavimento con el objetivo de determinar las causas del deterioro basado en los resultados que se obtendrán luego de una evaluación funcional, evaluación estructural o evaluación visual del pavimento.

Desde el año 90 se ha aplicado métodos en la cual se pueden efectuar evaluaciones con resultados tanto cualitativos como cuantitativos (Morales, 2012).

En los tipos de evaluación se dividen en dos grupos que son: Métodos no destructivos y Métodos destructivos; para el presente trabajo únicamente se explicará los métodos no destructivos, debido a que es uno de los objetivos centrales del tema a tratar:

2.4.1 Métodos no destructivos

El método no destructivo es uno de los más utilizados en la actualidad por su precisión y rapidez en obtener las propiedades o características del pavimento sin afectar su estructura o comportamiento. Existen tres tipos (Morales, 2012):

- Evaluación Estructural
- Evaluación Visual
- Evaluación Funcional

2.4.1.1 Evaluación Estructural

Una evaluación estructural se realiza en tramos donde el deterioro de la vía ha llegado a reducir el uso y la capacidad de resistir cargas; y cualquier alternativa de mantenimiento superficial ya no es realizable, debido a que la estructura se encuentra con daños severos. Es por esto que se requiere una rehabilitación rápida y que garantice que la vía retome sus funciones viales.

El principal objetivo de la evaluación estructural es determinar la capacidad estructural efectiva del pavimento, ya que de ella va a depender que el refuerzo sea correctamente diseñado. Las maneras de determinar la capacidad estructural de un pavimento son:

- Vigilancia insitu y visual.
- Ensayo de materiales en un laboratorio.
- Ensayos no destructivos.
- Estudios basada en la vida remanente.

2.4.1.2 Evaluación Visual

La evaluación visual se define como la observación periódica del comportamiento del pavimento, pudiendo observar los distintos tipos de deterioros existentes y determinar su origen y severidad. Esta evaluación se realiza para obtener datos sobre el impacto que tienen las cargas de tráfico sobre el pavimento y como afectan en su comportamiento sobre todo en el refuerzo, logrando saber que deterioros son más importantes de reparar debido a que pueden causar fallas de mayor complejidad.

Con este tipo de evaluación se puede determinar de una manera rápida un tratamiento adecuado para la superficie del pavimento, logrando diseñar de mejor manera el refuerzo más adecuado para la vía en estudio. Dentro de una evaluación visual también se tiene en cuenta la parte del drenaje que está relacionado con los deterioros o fallas que presenta la vía. Los pasos para realizar una evaluación visual son (Morales, 2012):

- Identificar el tipo de falla, severidad y causa.
- Contabilizar todos los deterioros en una hoja de evaluación.
- Clasificar y cuantificar la información obtenida en campo.
- Realizar un informe respecto a los resultados obtenidos en la vía que se evaluó.

La evaluación visual de los pavimentos rígidos exige definir una terminología uniforme que permita identificar los diferentes tipos de daños, sus causas, su grado de severidad y la extensión de los mismos. Este tipo de evaluación puede ser subjetiva, es decir, que puede tender a cambiar sus resultados según el punto de vista del profesional que lo realice.

Tipos de evaluación visual según (Morales, 2012)**:**

- **Evaluación superficial y rango de pavimento (PASER)**

Pavement Surface Evaluation and Rating (PASER), presenta un catálogo de fallas siguiendo una escala gráfica con condiciones que varían de 1 (menor condición de calidad) a 10 (mejor condición de calidad).

- **Inspección visual de daños en Carreteras (VIZIR)**

El método "Vision Inspection of Zones et Itinéraires Á Risque" (VIZIR), en los años 60 se usó en pavimentos flexibles, usado para cuantificar y calificar los daños a través de inspecciones visuales, calificando así la condición del pavimento mediante un índice global de degradación vinculado con el mantenimiento de la vía en estudio. Su objetivo es obtener un índice de deterioro superficial (Is) para carreteras.

2.4.1.3 Evaluación Funcional

La evaluación funcional es la inspección superficial realizada en un tramo de la vía con el fin de determinar los deterioros del pavimento, no se compromete la capacidad estructural del pavimento.

Los deterioros observados son cuantificados indicando a través de fórmulas, en las que se recoge una serie de parámetros del pavimento con las cuales se podrá tener una opinión más cercana a una realidad del estado del pavimento.

El comportamiento funcional de un pavimento rígido está asociado a la capacidad funcional que tiene para brindar una superficie segura y cómoda al usuario.

Una evaluación funcional tiene como características (IMCYC , 2015):

- Textura
- Fricción superficial
- Fisuras
- Levantamiento de deterioros.
- Inspección visual y con equipos de alto rendimiento.
- Apariencia de la superficie.
- Conceptos y equipos de medición.
- Comportamiento, serviciabilidad y rugosidad del pavimento.

Textura: Está asociada con la seguridad y aceptabilidad de los usuarios, relacionada con la conservación de la vía y la capacidad de resistencia del pavimento con respecto al drenaje y de manera indirecta con el coeficiente de rozamiento del pavimento. Principalmente tiene una estrecha relación entre la adherencia del neumático al pavimento.

Fricción superficial: Es la fuerza entre el pavimento y la rueda que se resiste al deslizamiento en el frenado. Tiene un valor de referencia muy importante más aún cuando la vía se encuentra mojada debido a que se reduce la adherencia entre el neumático con el pavimento.

Fisuras: Es el inicio de un pavimento con problemas en su estructura, puede deberse a cambios de temperatura, esfuerzos o cargas excesivas de tránsito afectando la resistencia del pavimento. Es una señal para comenzar un mantenimiento temprano y preventivo.

Existen varios indicadores del estado superficial del pavimento cuyo objetivo es establecer rangos o límites para la evaluación del pavimento. Su principal función es garantizar que el estado superficial del pavimento se mantenga y en caso de presentar deterioros, generar alternativas de mantenimiento oportunas.

Existen varios tipos de indicadores que se utilizan dentro de una evaluación funcional según (Peñaloza & Calle, 2017):

- **Índice de serviciabilidad presente (PSI):** Parámetro relacionada con la capacidad de la vía y la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento, varía en una escala de 0 a 5, donde 5 es un mayor nivel de serviciabilidad y 0 es un menor nivel.

  En la *Figura 13* presenta gráficamente el comportamiento de las cargas sobre el pavimento, el índice de servicio (PSI), donde el nivel de servicio más bajo permisible, debe elevarse con la intervención de una rehabilitación o reconstrucción. El tiempo es otro factor importante en este índice debido a que el nivel de servicio va descendiendo según el tiempo aumenta.

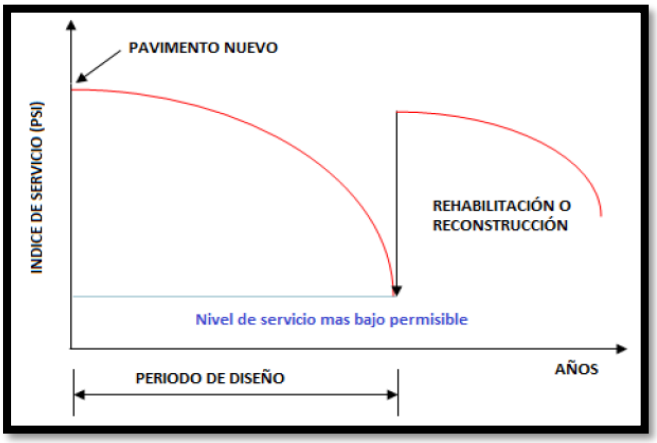


Figura N°13. Variación del índice de serviciabilidad de un pavimento por efecto de las cargas en relación al tiempo *(Peñaloza & Calle, 2017)*.

- **Índice de regularidad internacional (IRI):** Parámetro que determina la regularidad superficial de una vía, implica las variaciones en la elevación de la superficie; está relacionada con la calidad de rodadura y seguridad.

- **Índice de Fricción Internacional (IFI):** Es el segundo parámetro internacional que define el estado de un pavimento, el pavimento presenta las mismas características de adherencia y textura independiente del tipo de pavimento (Universidad EAFIT, 2001).

- **Índice de la Condición del Pavimento (PCI):** Es una evaluación superficial que se realiza mediante un catálogo de fallas obtenidas de la superficie del pavimento con el fin de tener una evaluación detallada de todos los deterioros observados, estableciendo la severidad, extensión y magnitud de cada deterioro observado. Este último índice se aplicará en el presente trabajo, razón por la cual en el siguiente capítulo se lo estudiara más detalladamente.

2.5 DETERIOROS DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Las fallas en los pavimentos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son fallas funcionales y fallas estructurales según (Soto, 2013):

Fallas Funcionales

Son leves, por lo general se dan cuando el pavimento ya no cumple con su función inicial, las fallas se ubican en la superficie de la capa de rodadura y por lo general causa molestias en la calidad de viaje, es decir, las deformaciones son mayores a las tolerables. Pueden observarse de manera directamente visual. Entre las principales fallas funcionales se encuentran: escalonamiento, superficie pulida, bacheos, fisuramiento por retracción, desintegración, ondulaciones transversales ligeras y continuas, desmoronamiento de la carpeta, etc.

Fallas Estructurales

Son graves, se originan en una capa, pudiendo afectar o destruir a varias capas del pavimento, también pueden darse por una mala calidad del suelo donde se encuentra asentado. Son deterioros que imposibilitan la resistencia del pavimento antes las cargas que genera el tránsito. Para detectar estas fallas se utiliza métodos destructivos y/o no destructivos para cuantificar la magnitud de la falla.

Entre las principales fallas estructurales se encuentran: grietas (longitudinal, transversal, de esquina), punzonados, levantamientos, agrietamiento por durabilidad, etc., algunas de estas fallas no son provocadas directamente por las cargas del tránsito sino pueden deberse a una baja calidad de construcción, cambios de temperaturas, espesores reducidos, mal drenaje, materiales de baja calidad etc.

2.5.1 Tipos de deterioros en el pavimento rígido

Se dividen en cuatro categorías según (SHRP, 1993):

Agrietamiento: Puede estar relacionada con la fatiga, grietas longitudinales o transversales por el exceso de carga del tránsito o cambio en la temperatura, materiales de baja calidad, además puede presentarse grietas de durabilidad de menor tamaño, por lo general tienen una forma de media luna, y se forman por efecto del hielo y deshielo o por humedad.

Defectos de superficie: Por lo general son grietas interconectadas que se extienden a lo largo de la losa, afectando únicamente la capa superior, sus causas son: una mala compactación, material deficiente o acción de la descongelación. Otras variaciones son los popouts, que son pequeños pedazos de material faltantes en la losa y el pulido de la superficie se da por la excesiva carga del tráfico.

Deficiencias conjuntas: Los sellos de juntas transversales / longitudinales pueden ser el resultado la acumulación de humedad y objetos extraños en la articulación.

Diversas: Es un deterioro grave en forma de angustia (bombeo) que se encuentra comúnmente en pavimentos de hormigón portland de unión simple sin refuerzo de barra pasante. Su principal causa es una mala transferencia de carga vertical entre las losas a través de las juntas, lo que crea aumentos repentinos en la presión.

En la *Figura 14* se presenta gráficamente la variedad de deterioros encontrados en los pavimentos de hormigón portland.

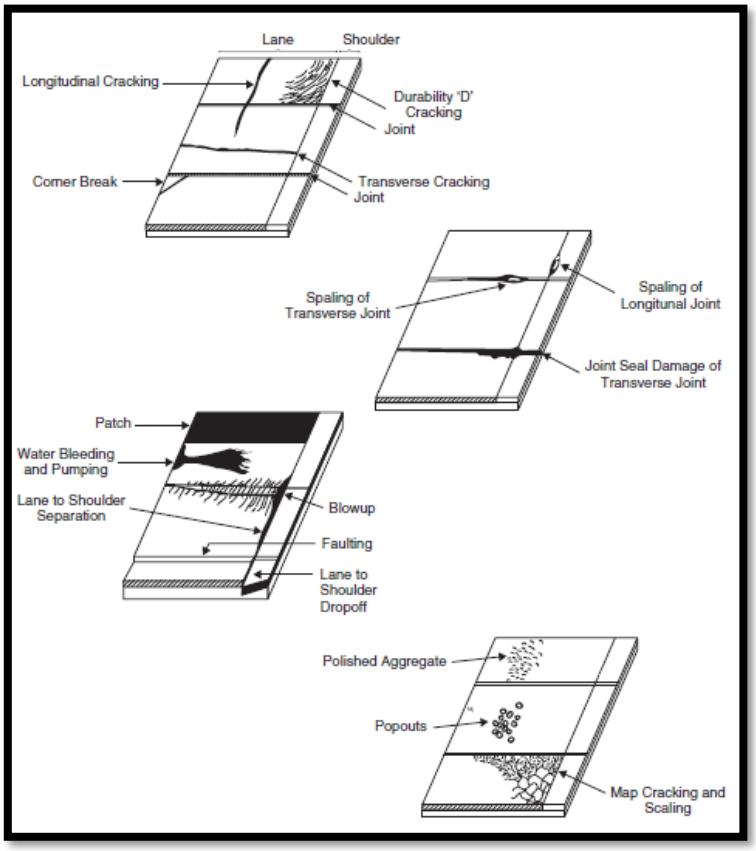


Figura N° 14. Deterioros en pavimentos de hormigón portland. *(SHRP, 1993)*.

Los siguientes deterioros expuestos a continuación son los encontrados durante la inspección que se realizó en el trabajo de titulación en la avenida Loja tramo avenida de las Américas – avenida 10 de Agosto; cada deterioro está debidamente detallado con su nivel de severidad y medición, cabe recalcar que se ha usado de guía los deterioros establecidos en la norma ASTM D6433, la misma que es utilizada para el método del PCI.

En la *Tabla 1* se muestra los tipos de deterioros para un pavimento rígido.

Tabla 1. Tipos de deterioros encontrados en la inspección en la avenida Loja tramo avenida de las Américas – avenida 10 de Agosto (Vásquez, 2006).

22	Grieta de Esquina	30	Parcheo (Pequeño)
23	Losa Dividida	31	Pulido de Agregados
24	Grieta de Durabilidad	32	Popouts
25	Escalonamiento	33	Bombeo
26	Sello de junta	36	Desconchamiento
28	Grieta Lineal	38	Descascaramiento de Esquina
29	Parcheo (Grande)	39	Descascaramiento de Junta

En esta sección se describe el tipo de deterioros que se presentan en los pavimentos rígidos, incluyendo ejemplos observados en la avenida Loja (Vásquez, 2006):

- ***Grieta de esquina***

Una grieta de esquina es una fisura que intercepta una junta transversal con una junta longitudinal o borde de calzada orientada en general a 45º del eje del pavimento (Calo, 2010) a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo.

Niveles de Severidad:
B: La grieta está definida por una grieta de baja severidad y el área entre la grieta y las juntas está ligeramente agrietada o no presenta grieta alguna.
M: Se define por una grieta de severidad media o el área entre la grieta y las juntas presenta una grieta de severidad media (M).
A: Se define por una grieta de severidad alta o el área entre la junta y las grietas está muy agrietada.

Medida:
La losa dañada se registra como una losa sí:

- Sólo tiene una grieta de esquina.
- Contiene más de una grieta de una severidad particular.
- Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de severidad. Por ejemplo, una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una de severidad media, deberá contabilizarse como una losa con una grieta de esquina media.

Como evitarlas (Calo, 2010)**:**
- Transferencia de carga adecuada en tránsito pesado.
- Diseño adecuado de juntas en superficies de geometría irregular.
- Provisión de una subbase resistente a la erosión bajo tránsito pesado.

En la *Figura 15* se muestra un ejemplo de grieta de esquina ubicada en el tramo 1 con severidad baja, presenta una grieta delgada, con un área pequeña y sin agrietamiento entre la grieta y la junta.

Figura N° 15. Grieta de esquina.
Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud:-2.915641 Longitud:-79.032845

Inmediatamente se muestra la *Figura 16* con una grieta de esquina ubicada en el tramo 2 con severidad alta, debido a que el área entre la grieta y la junta está muy observando hasta una falta de material.

Figura N° 16. Grieta de esquina.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.910782 Longitud: -79.028868

- ***Losa dividida***

La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

Niveles de severidad:
En la *Tabla 2* se anotan los niveles de severidad para losas divididas.

Tabla 2. Niveles de severidad para losa dividida.

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos en la losa agrietada		
	4 a 5	6 a 8	8 o más
B	L	L	M
M	M	M	H
A	M	M	H

Medida:
Si la *losa dividida* es de severidad media o alta, no se contabiliza otro tipo de daño.

A continuación se presentan ejemplos este deterioro, el cual se presentó con mayor frecuencia en el tramo 2.

En la *Figura 17* se muestra una losa dividida en 4 pedazos no presentan agrietamientos y sus grietas son finas, por esta razón se la consideró de severidad baja.

Figura N° 17. Losa dividida.
Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud: -2.915464 Longitud: -79.032409

En la *Figura 18* se observa una losa dividida en 6 pedazos, de las cuales 3 de las grietas están reparadas con material sellante y miden entre 3 a 15 mm, la severidad de este ejemplo es media.

Figura N° 18. Losa dividida.
Severidad: Media
Coordenadas: Latitud: -2.911841 Longitud: -79.029715

En la *Figura 19* se presenta una losa totalmente dividida en más de 8 pedazos, los cuales presentan cada pedazo agrietado en partes más pequeñas, además una falta de material y un ancho de grieta mayor de 20 mm, en este caso se consideró una severidad alta.

Figura N° 19. Losa dividida.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.911923 Longitud: -79.029743

- ***Grieta de durabilidad "D"***

Causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas "D".

Niveles de Severidad:

B: Las grietas "D" cubren menos del 15% del área de la losa. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unas pocas piezas pueden haberse desprendido.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Las grietas "D" cubren menos del 15% del área de la losa y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse con facilidad.
2. Las grietas "D" cubren más del 15% del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

A: Las grietas "D" cubren más del 15% del área y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

Medida:

Cuando el daño se localiza y se califica en una severidad, se cuenta como una losa. Si existe más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si grietas "D" de baja y media severidad están en la misma losa, la losa se registra como de severidad media únicamente.

Los ejemplos presentados a continuación se encuentran ubicados en el tramo 1, en la *Figura 20* se muestra el deterioro de grieta de durabilidad con una severidad baja debido a que el área afectada cubre un porcentaje menor al 15%.

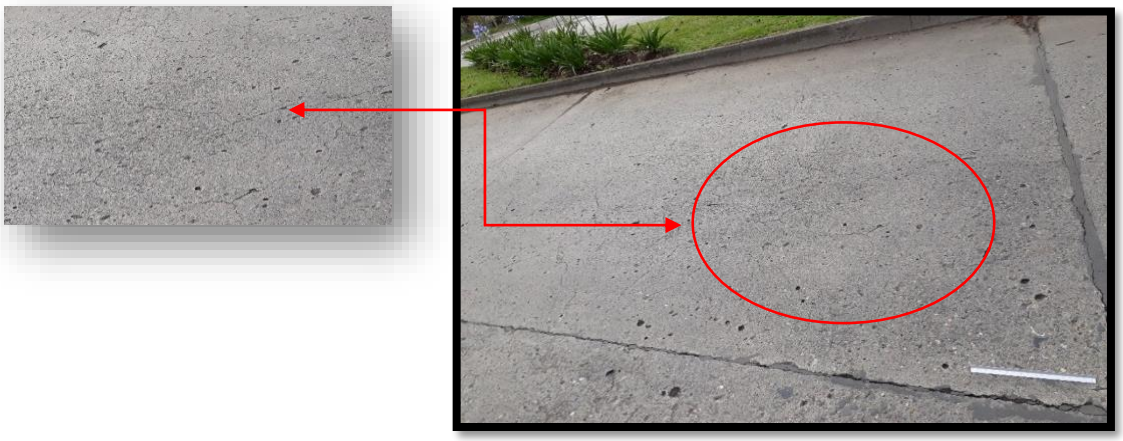


Figura N° 20. Grieta de durabilidad "D".
Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud: -2.914899 Longitud: -79.032289

En la *Figura 21* se muestra grietas de durabilidad más grandes que afectan a un 25% del área de la losa, además se observó 2 grietas con material poco removido, por lo cual se clasifica con una severidad media.

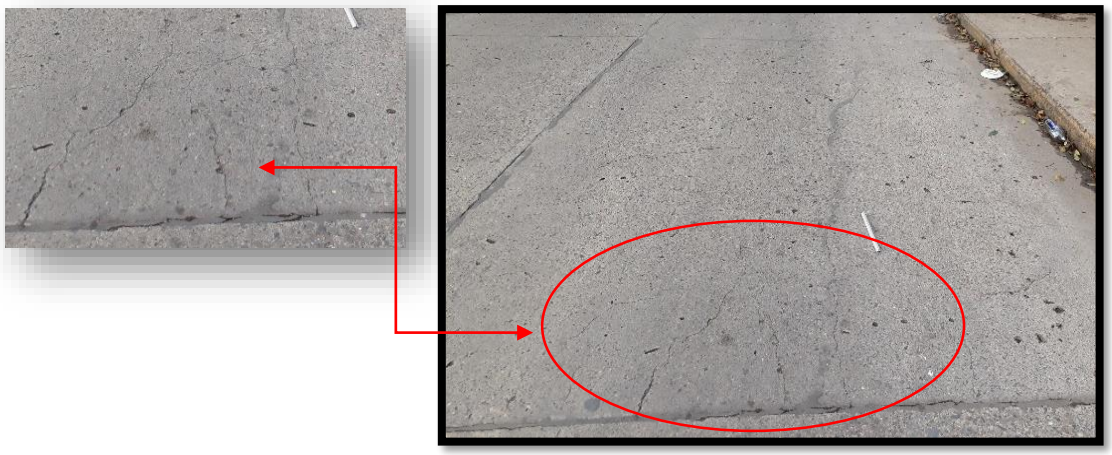


Figura N° 21. Grieta de durabilidad "D".
Severidad: Media
Coordenadas: Latitud: -2.915453 Longitud: -79.032794

- ***Escalonamiento***

Es la diferencia de nivel a través de la junta o grieta. Algunas causas de su origen son:

1. Asentamiento debido una fundación blanda.
2. Bombeo o erosión del material debajo de la losa.
3. Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura o humedad.

Niveles de Severidad:
Se definen por la diferencia de niveles como se indica en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Niveles de severidad para escalonamiento.

Nivel de severidad	Diferencia en elevación
B	3 a 10 mm
M	10 a 19 mm
A	Mayor que 19 mm

Medida:
La escala a través de una junta se cuenta como una losa. Se cuentan únicamente las losas afectadas. Las escalas a través de una grieta no se cuentan como daño pero se consideran para definir la severidad de las grietas.

Los siguientes ejemplos de escalonamiento se ubican en los tramos 1 y tramo 2 respectivamente, por lo que se observó el tramo 1 presenta en su mayoría este deterioro.

La *Figura 22* muestra un escalonamiento menor a 7 mm, por lo tanto se lo clasifica con una severidad baja.

Figura N°22. Escalonamiento.

Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud: -2.907976 Longitud: -79.02664

La *Figura 23* presenta un escalonamiento mayor a 13 mm, por lo cual se clasifica como un deterioro de severidad media.

Figura N° 23. Escalonamiento.

Severidad: Media
Coordenadas: Latitud: -2.914846 Longitud: -79.032087

La *Figura 24* muestra un escalonamiento mayor a 20 mm, siguiendo la *Tabla 3* presenta una severidad alta; por lo que se pudo observar la presencia de árboles causarían este tipo de deterioro.

Figura N° 24. Escalonamiento.

Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.915641 Longitud: -79.032845

- ***Daño del sello de la junta***

Es cualquier condición que permite que suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que lo anterior ocurra.

Los tipos típicos del daño de junta son:

1. Desprendimiento del sellante de la junta.
2. Extrusión del sellante.
3. Crecimiento de vegetación.
4. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
5. Perdida de adherencia a los bordes de la losa.
6. Falta o ausencia del sellante en la junta.

Niveles de Severidad*:*
B: El sellante está en una condición buena en forma general en toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor.
M: Está en condición regular en toda la sección, con uno o más de los tipos de daño que ocurre en un grado moderado. El sellante requiere reemplazo en dos años.

A: Está en condición generalmente buena en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, los cuales ocurren en un grado severo. El sellante requiere reemplazo inmediato.

Medida:
No se registra losa por losa sino que se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.
Los ejemplos que se presentan a continuación se encuentran ubicados en el tramo 1, en la *Figura 25* se muestra un sellado de junta con severidad baja debido al buen estado, únicamente presenta pequeños daños poco perceptibles a lo largo de la junta.

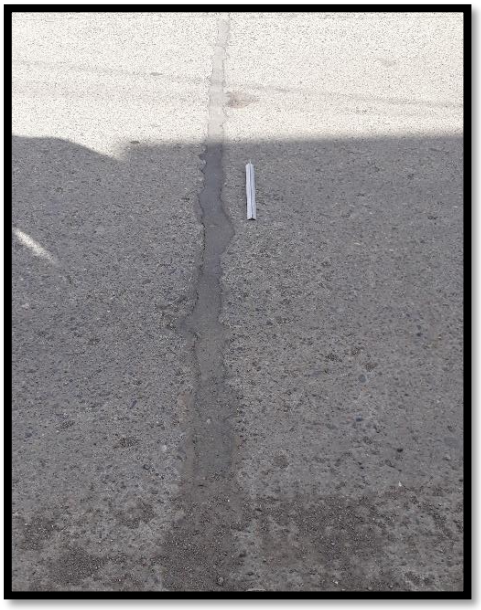


Figura N° 25. Daño del sello de junta.
Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud: -2.9117897Longitud: -79.034543

En la *Figura 26* se observa una junta sin sellante, por esta razón se lo clasifica con una severidad alta, debido a que la falta del sellante es una de las causas para que la losa comience a presentar otro tipo de deterioro debido a la infiltración de materiales o agua.

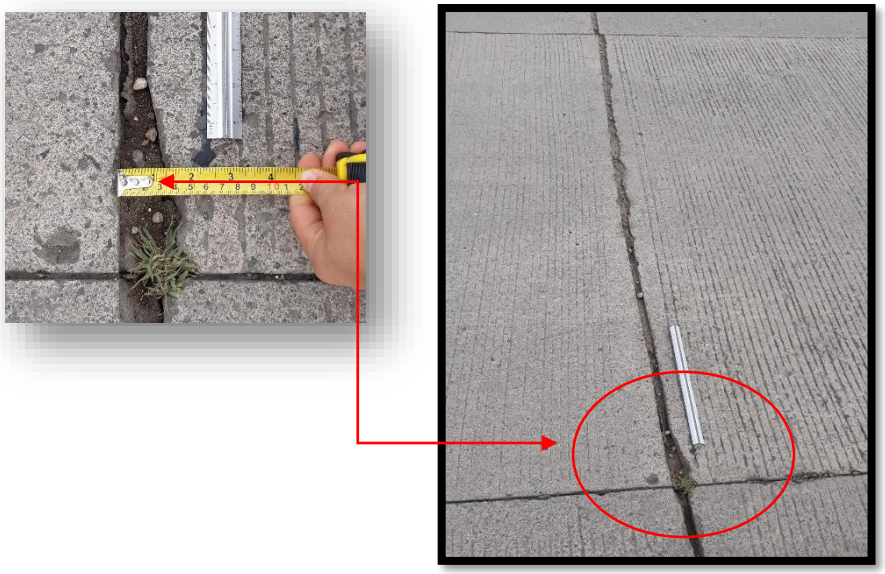


Figura N° 26. Daño del sello de junta.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.922255 Longitud: -79.038344

- ***Grieta lineal*** **(Grietas longitudinales, transversales y diagonales)**

Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad. Las losas divididas en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes. Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en todo la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción.

Niveles de Severidad:

Losas sin refuerzo

B: Grietas no selladas (incluye llenante inadecuado) con ancho menor que 12 mm, o grietas selladas de cualquier ancho en condición satisfactoria. No existe escala.
M: 1. Grieta no sellada con ancho entre 12 mm y 51 mm.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 51 mm con escala menor que 10 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10 mm.
A: 1. Grieta no sellada con ancho mayor que 51mm.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho con escala mayor que 10 mm.

Losas con refuerzo

B: Grietas no selladas con ancho entre 3 mm y 25 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.
M: 1. Grieta no sellada con un ancho entre 25 mm y 76 mm y sin escala.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 76 mm con escala menor que 10 mm.

3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala hasta de 10 mm.
A: 1. Grieta no sellada de más de 76 mm de ancho.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho y con escala mayor que 10 mm.

Medida:
Establecida la severidad, el daño se registra como una losa. Si dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se cuenta dicha losa que presente la severidad más alta. Las losas divididas en cuatro o más pedazos cuentan como losas divididas.

Los deterioros que se muestran a continuación se ubican en los tramos 1 y tramo 2.
En la *Figura 27* se observa una grieta lineal longitudinal que afecta a más de tres losas, la grieta se encuentra rellenada con un sellante de manera satisfactoria, por lo cual su nivel de severidad es baja.

Figura N° 27. Grieta Lineal (Longitudinal).
Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud: -2.914280 Longitud: -79.031792

En la *Figura 28* se muestra una grieta lineal transversal con severidad media debido al ancho de la grieta es menor a 51 mm y no presenta sellante alguno.

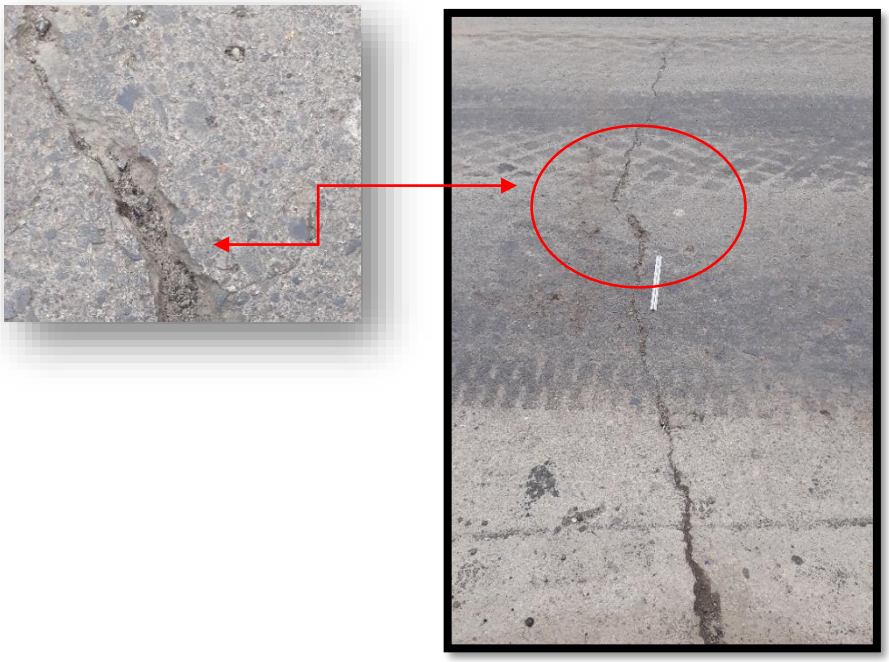


Figura N° 28. Grieta Lineal (Transversal).
Severidad: Media
Coordenadas: Latitud: -2.911643 Longitud: -79.02957

En la *Figura 29* se observa una grieta lineal transversal con severidad alta presentando un ancho de grieta mayor a 60 mm y carece de sellante.

Figura N° 29. Grieta Lineal (Transversal).
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.912811 Longitud: -79.030602

- ***Parcheo (Grande)***

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo. Una excavación de servicios públicos es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o mantenimiento de conexiones subterráneas. El nivel de severidad es igual para ambos casos.

Niveles de Severidad:
B: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.
M: El parche esta moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable.
A: El parche está muy dañado. El estado de deterioro exige reemplazo.

Medida:
Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad. Si la causa del parche es más severa, únicamente el daño original se cuenta.

Los deterioros de parcheo grande presentados a continuación se encuentran ubicados en el tramo 1 y tramo 2 que presenta mayor cantidad de éste deterioro con severidad alta.

En la *Figura 30* se muestra un parche grande con una severidad baja debido a que no presenta un daño significativo.

Figura N° 30. Parcheo grande.
Severidad: Baja
Coordenadas: Latitud: -2.912521 Longitud: -79.030389

En la *Figura 31* se observa un parche grande con severidad media, presentando descascaramiento en sus bordes, sin embargo, no presenta un parche agrietado o deteriorado.

Figura N° 31. Parcheo grande.
Severidad: Media
Coordenadas: Latitud: -2.913007 Longitud: -79.030766

En la *Figura 32* se presenta un parche grande que implica más de dos losas, presenta una severidad alta debido a su deterioro, desgaste en los bordes y se puede observar falta de material.

Figura N° 32. Parcheo grande.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.921526 Longitud: -79.037554

- ***Parcheo (Pequeño)***

Es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno.

Niveles de Severidad
B: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.
M: El parche está moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo.
A: El parche está muy deteriorado. La extensión del daño exige reemplazo.

Medida
Si una losa presenta uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se registra como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se registra como una losa con el mayor nivel de daño. Si la causa del parche es más severa, únicamente se contabiliza el daño original.

Los ejemplos expuestos a continuación se ubican en el tramo 1, en la *Figura 33* se observa un parche pequeño con severidad baja, no presenta daño alguno el parche.

Figura N° 33. Parcheo pequeño.
Severidad: Bajo
Coordenadas: Latitud: -2.917505 Longitud: -79.034332

La *Figura 34* muestra un parche pequeño deteriorado con los bordes muy desgastados, en una de sus esquinas se observa falta de material, por lo cual se requiere un reemplazo lo antes posible.

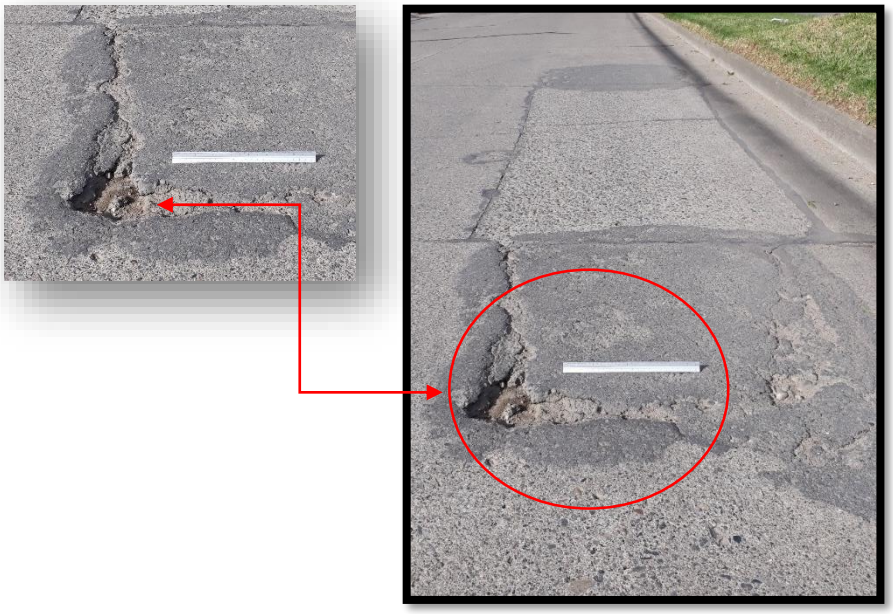


Figura N° 34. Parcheo pequeño.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.920228 Longitud: -79.03665

- ***Pulido de agregados***

Causada por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito. Cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto, se reduce considerablemente la adherencia con las llantas. Cuando la porción del agregado que se extiende sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulido de agregados que se extiende sobre el concreto es despreciable y suave al tacto. Este tipo de daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a evaluaciones previas.

Niveles de Severidad
No se define un grado de severidad, para incluirlo en un inventario y calificarlo como un deterioro su grado deberá ser significativo.

Medida
Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa.

Este tipo de deterioro se encuentra en gran parte de la longitud del pavimento rígido de la avenida Loja, no produce mayor influencia dentro de la funcionalidad del pavimento, en este caso se lo ha tomado en cuenta como un ejemplo del deterioro que se observa en la *Figura 35*.

Figura N° 35. Pulido de agregados.
Coordenadas: Latitud: -2.906484 Longitud: -79.026439

- ***Desprendimientos (Popouts)***

Un popout es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo. Puede deberse a partículas blandas o fragmentos de madera rotos y desgastados por el tránsito. Varían en tamaño con diámetros entre 25 mm y 102 mm y en espesor de 13 mm a 51 mm.
Niveles de Severidad:
No se definen grados de severidad. Sin embargo, el popout debe ser extenso antes que se registre como un daño. La densidad promedio debe exceder aproximadamente tres por metro cuadrado en toda el área de la losa.

Medida:
Debe medirse la densidad del daño. Si existe alguna duda de que el promedio es mayor que tres popout por metro cuadrado, deben revisarse al menos tres áreas de un metro cuadrado elegidas al azar. Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, debe contabilizarse la losa.

En la *Figura 36* se muestra el deterioro de popouts, se encontró en gran parte del tramo 1, fue incluido dentro del inventario debido a que su densidad era mayor a lo establecido anteriormente.

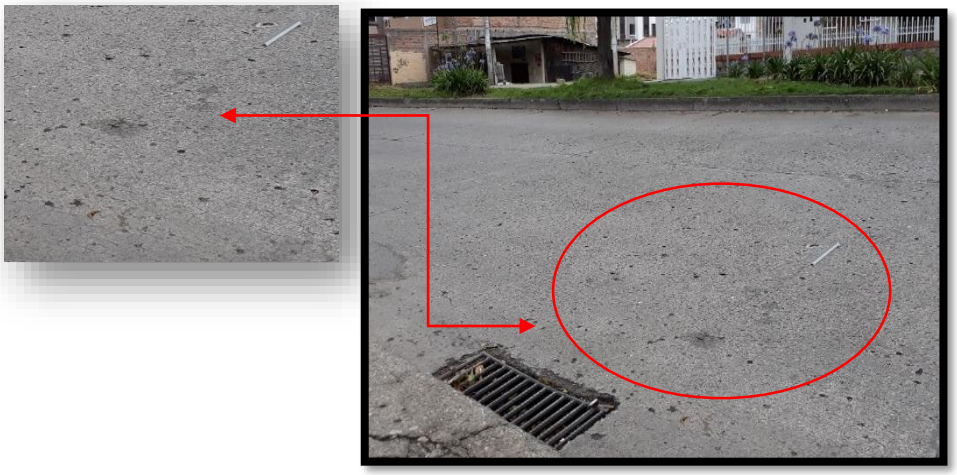


Figura N° 36. Desprendimientos (Popouts).
Coordenadas: Latitud: -2.913877 Longitud: -79.031463

- ***Bombeo***

El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debida a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual generan una pérdida progresiva del soporte del pavimento, cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta.

Niveles de Severidad:
No se definen grados de severidad. Es suficiente indicar la existencia.

Medida:
El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como dos losas. Sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa tienen bombeo, se agrega una losa por junta adicional con bombeo.

A continuación se presentas ejemplos de losas con bombeo muy agrietadas, en las cuales su única reparación es el reemplazo total de la losa, este tipo de deterioro se ubica en el tramo 2. En la *Figura 37* se muestra una losa que presenta hundimiento por pérdida de soporte, además presenta un agujero por donde se pudo observar la falta de material bajo la capa de concreto.

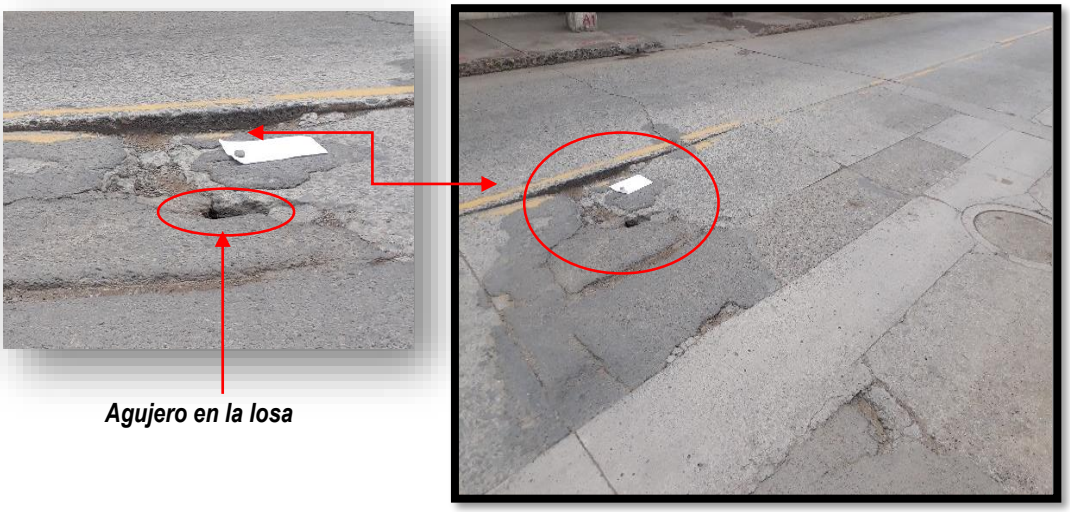


Figura N° 37. Bombeo.
Coordenadas: Latitud: -2.910834 Longitud: -79.028813

En la *Figura 38* se observa la presencia de agua que se expulsa cuando una carga pasa sobre la losa y a través de esta se elimina material, sin embargo, esta losa presenta dos tipos de deterioros como: losa dividida y parcheo grande con severidades altas, por lo tanto, el deterioro ya no se considerada.

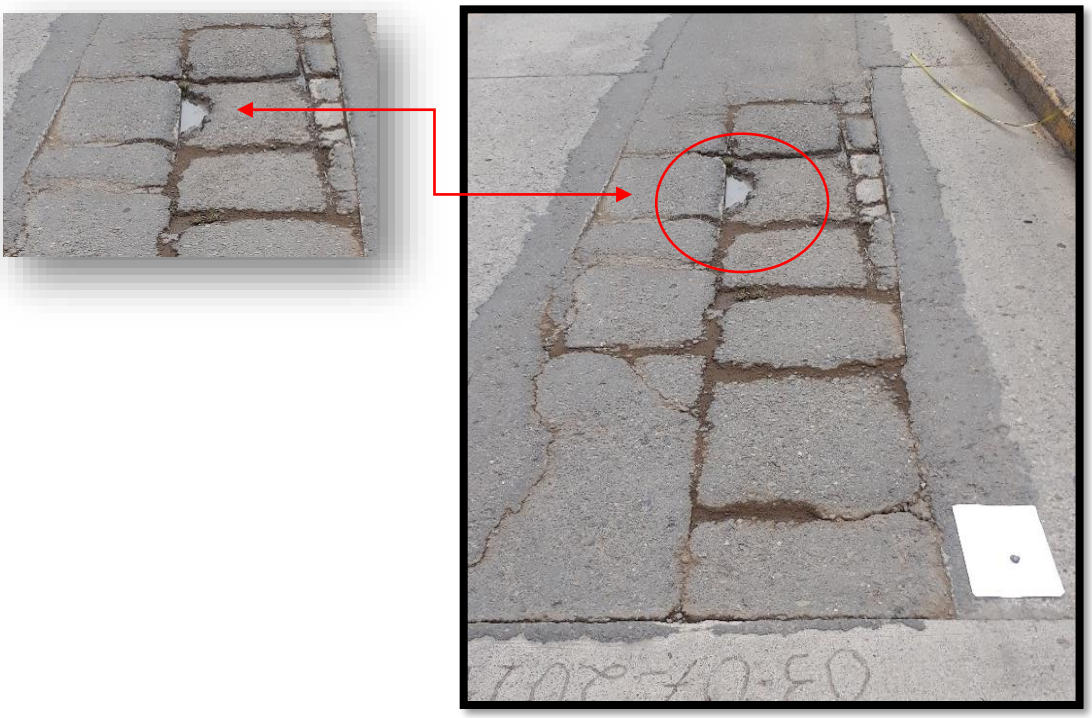


Figura N° 38. Bombeo.
Coordenadas: Latitud: -2.908619 Longitud: -79.027158

En la *Figura 39* se observa el deterioro de bombeo que afecta a la junta longitudinal de la losa provocando una erosión y falta de material lo cual generan una pérdida del soporte del pavimento y ha provocado un agrietamiento en más de dos losas.

Figura N° 39. Bombeo.
Coordenadas: Latitud: -2.911168 Longitud: -79.029129

- ***Desconchamiento***

El mapa de grietas o craquelado se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados. Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6 mm a 13 mm.
El descamado también puede ser causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad.

Niveles de Severidad
B: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con solo un descamado menor presente.
M: La losa está descamada, pero menos del 15% de la losa está afectada.
A: La losa esta descamada en más del 15% de su área.

Medida
Una losa descamada se contabiliza como una losa. El craquelado de baja severidad debe contabilizarse únicamente si el descamado potencial es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han salido.

Se presenta dos ejemplos de desconchamiento ubicados en el tramo 1, en la *Figura 40* se observa una losa descamada con un 9% del área total afectada, por lo tanto, su nivel de severidad es media.

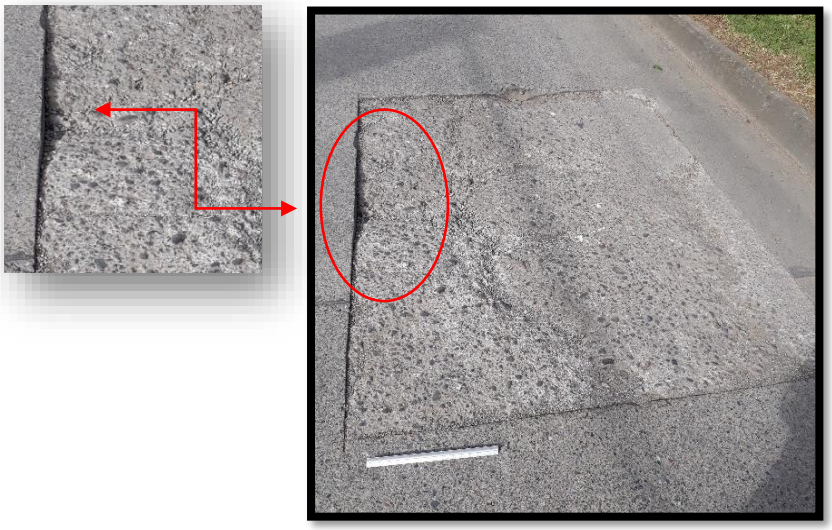


Figura N° 40. Desconchamiento.
Severidad: Media
Coordenadas: Latitud: -2.919624 Longitud: -79.03608

En la *Figura 41* se muestra varias losas que presentan un estado descamado con severidad alta afectando un 35% de la losa con una ruptura de profundidad de 6 mm.

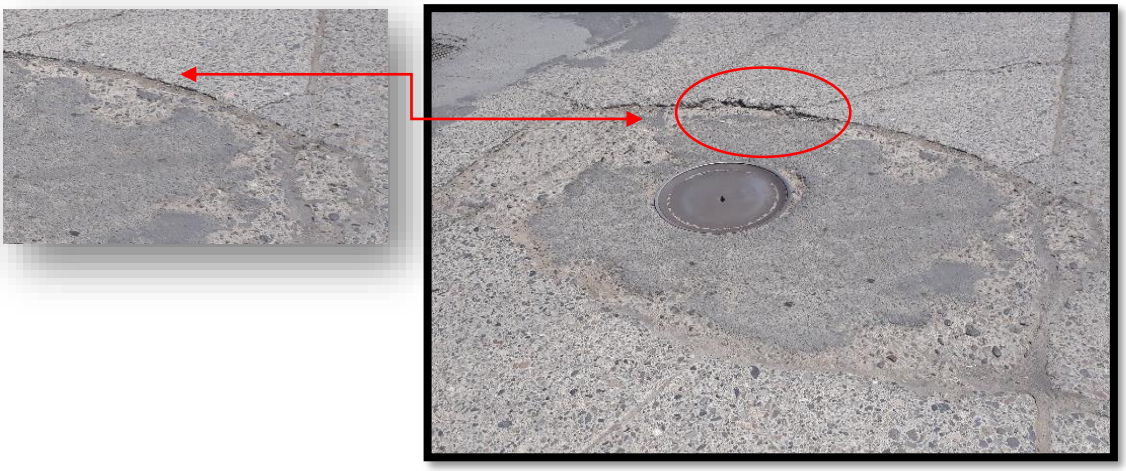


Figura N° 41. Desconchamiento.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.913323 Longitud: -79.031016

- ***Descascaramiento de esquina***

Es la rotura de la losa a 0.6 m de la esquina aproximadamente. Un descascaramiento de esquina difiere de la grieta de esquina en que el descascaramiento usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, mientras que la grieta se extiende verticalmente a través de la esquina de losa.

Un descascaramiento menor que 127 mm medidos en ambos lados desde la grieta hasta la esquina no deberá registrarse.

Niveles de Severidad:
En la *Tabla 4* se listan los niveles de severidad para el descascaramiento de esquina. El descascaramiento de esquina con un área menor que 6452 mm² desde la grieta hasta la esquina en ambos lados no deberá contarse.

Tabla 4. Niveles de severidad para descascaramiento de esquina.

Profundidad del descaramiento	Dimensiones de los lados del descascaramiento	
	127,0 x 127,0 mm a 305,0 x 305,0 mm	Mayor que 305,0 x 305,0 mm
Menor de 25,0 mm	B	B
> 25,0 mm a 51,0 mm	B	M
Mayor de 51,0 mm	M	A

Medida:
Si en una losa hay una o más grietas con descascaramiento con el mismo nivel de severidad, la losa se registra como una losa con descascaramiento de esquina. Si ocurre más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.
El ejemplo que se presenta a continuación se ubica en el tramo 1 en la *Figura 42* con una severidad alta debido a la profundidad y ancho del deterioro, características que cumplen con la *Tabla 4*.

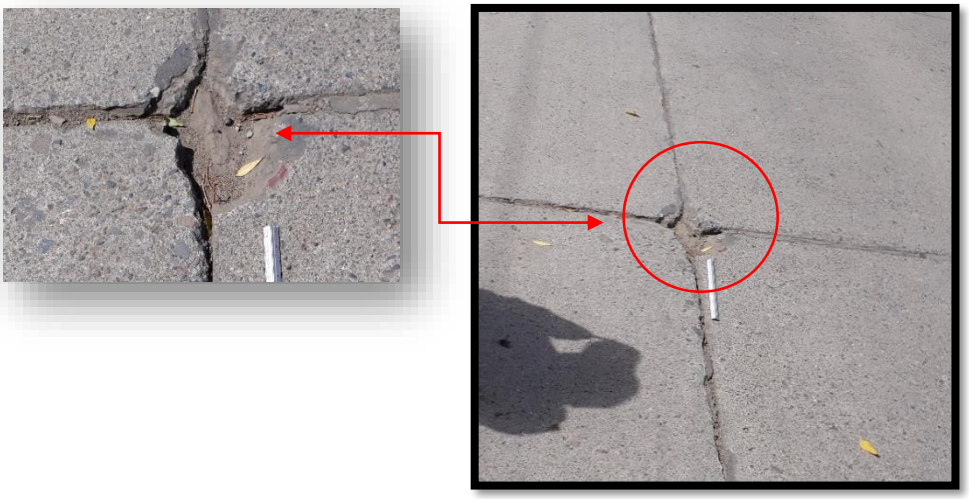


Figura N° 42. Descascaramiento de esquina.
Severidad: Alta
Coordenadas: Latitud: -2.919957 Longitud: -79.03647

- ***Descascaramiento de Junta***

Es la rotura de los bordes de la losa en los 0.60 m de la junta. Generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa si no que intercepta la junta en ángulo. Se origina por:

1. Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.
2. Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

Niveles de Severidad:
En la *Tabla 5* se ilustran los niveles de severidad para descascaramiento de junta. Una junta desgastada, en la cual el concreto ha sido desgastado a lo largo de toda la junta se califica como de baja severidad.

Tabla 5. Niveles de severidad para descascaramiento de junta.

Fragmentos del Descascaramiento	Ancho del descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		< 0,6 m	> 0,6 m
Duros. No puede removerse fácilmente (pueden faltar algunos pocos fragmentos).	< 102 mm	B	B
	> 102 mm	B	B
Sueltos. Pueden removerse y algunos fragmentos pueden faltar. Si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial, menos de 25,0 mm.	< 102 mm	B	M
	> 102 mm	B	M
Desaparecidos. La mayoría, o todos los fragmentos han sido removidos.	< 102 mm	B	M
	> 102 mm	M	A

Medida:
Si el descascaramiento se presenta a lo largo del borde de una losa, esta se cuenta como una losa con descascaramiento de junta. Si está sobre más de un borde de la misma losa, el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa. El descascaramiento de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes. Si este es el caso, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta.

La *Figura 43* muestra un descascaramiento con severidad baja, debido a que la junta no presenta mucho daño, y la parte afectada es pequeña con un fragmento removido que cumple con las especificaciones de la *Tabla 5*.

Figura N° 43. Descascaramiento de junta.

Severidad: Baja

Coordenadas: Latitud: -2.907986 Longitud: -79.026684

Capítulo III
EVALUACIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO (PCI)

En este capítulo se detalla de manera más extensa el método del PCI utilizado para el análisis del estado del pavimento, el cual se basa en la determinación del índice de la condición del pavimento, esta metodología es considerada como una de las más objetivas y aplicables. Se pretende implementar un modelo adecuado para el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos en la ciudad de Cuenca, con el cual se evaluará la avenida Loja tramo avenida de las Américas – avenida 1ero de Mayo. Una de las ventajas de aplicar el método del PCI son los bajos costos que demanda para la evaluación.

3.1 TEORÍA DEL PCI

El PCI es uno de los métodos más completos para una evaluación y calificación de la capa de rodadura de una carretera, es un "procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento", sea este flexible, rígido o articulado (Peñaloza & Calle, 2017). Este método fue normado por la ASTM, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (Shahin, 1976 – 1994); es utilizado para la evaluación de aeropuertos, caminos y lotes de parqueaderos.

Según (Vásquez, 2006):

> Dicha técnica cumple con la norma ASTM D6433, se basa en inspecciones visuales por medio de las cuales se determinará el estado de la capa de rodadura, dependerán del tipo, cantidad y severidad de los deterioros observados. Es una metodología de fácil implementación y no requiere de herramientas de alta tecnología, se requiere de conocimientos de distintos tipos de patologías y un formulario de inspección visual.
>
> El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla que presenta el pavimento, sin embargo, en una evaluación de la vía se encuentra una gran cantidad de combinaciones, por esta razón el método introduce un factor de ponderación, llamado "valor deducido", para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento a cada combinación la cual dependerá de la clase de deterioro.

En este trabajo de titulación uno de los objetivos específicos es: Evaluar el pavimento rígido mediante el método de índice de condición del pavimento (PCI) y determinar los tipos de deterioros que se encuentran agrietando el pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado (Vásquez, 2002) cuyo objetivo es obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles (Bejarano, 2011).

En la *Tabla 6,* se muestra los rangos de clasificación del PCI.

Tabla 6. Rangos de clasificación del PCI.

Rangos de clasificación del PCI	
Rango	**Clasificación**
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy Bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

En la *Figura 44* se presenta el grado de la condición del pavimento con su correspondiente descripción cualitativa, considerando que el método PCI ofrece una clasificación y calificación de 7 rangos para evaluar desde una superficie fallada hasta una superficie en excelentes condiciones (Bilbao, 2014).

A su vez la gráfica indica el nivel de serviciabilidad del pavimento, presentando el valor del PCI vs. Edad del Pavimento y el tipo de mantenimiento que se debería realizar según la calificación obtenida una vez se haya terminado la inspección de todo la avenida.

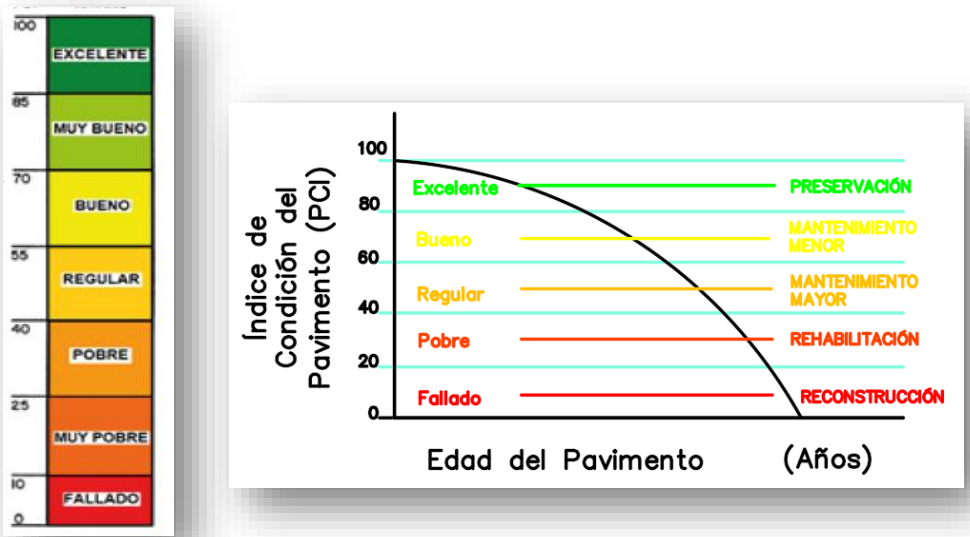


Figura N° 44. Grados de la condición del pavimento (PCI) *(ASTM D6433, 2003)*.

Este índice sirve para indicar los deterioros presentes en la superficie del pavimento, por lo tanto, ha sido aplicado en el presente trabajo de titulación.

Según (Bejarano, 2011); dentro del uso de este método no se busca solucionar aspectos de seguridad, por lo contrario, el PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie generando su respectivo tratamiento y mantenimiento.

Dentro de la metodología para la determinación del PCI se requiere emplear los siguientes materiales (Ordóñez, 2017):

Formato de exploración (*Figura 45***):** En este formato se registra y contabiliza la información obtenida durante la inspección visual: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de deterioros, niveles de severidad, cantidades.

Odómetro manual: Instrumento que mide distancias en calles, carreteras, caminos. No se empleó en su defecto GPS.

Regla: Para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio.

Conos de seguridad vial: Para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para el personal que realiza la inspección.

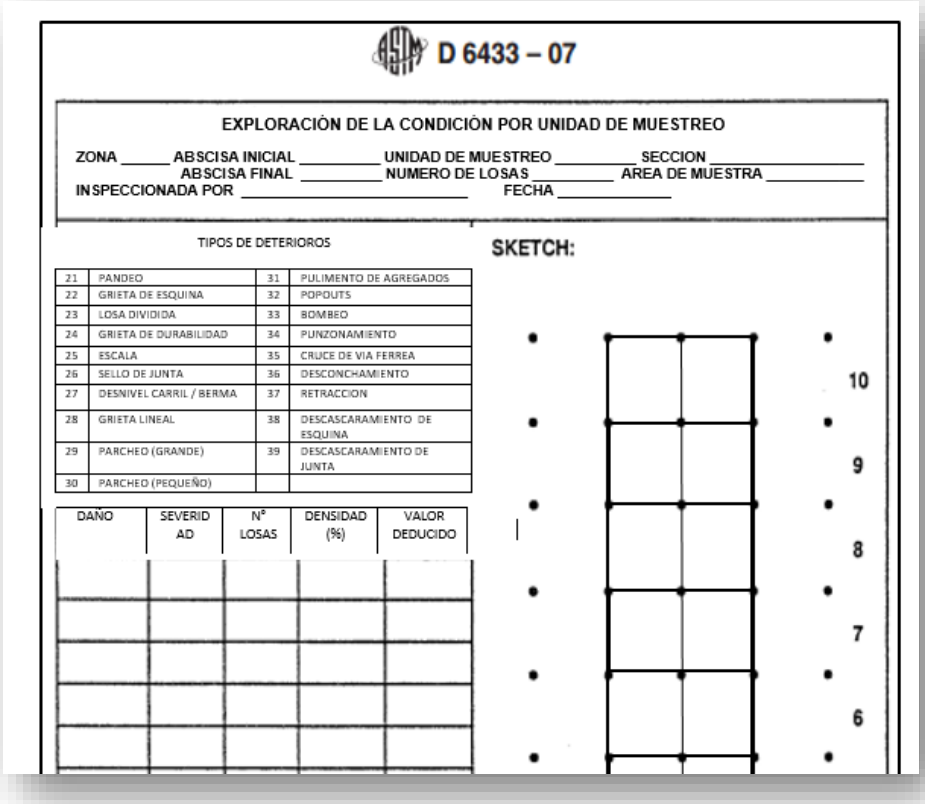
Plano de ubicación: Plano donde se encuentra ubicada cada zona de inspección a ser evaluada.

Según (Vásquez, 2002) el método del PCI sigue los pasos detallados a continuación:

Procedimiento de Evaluación:

La primera etapa se refiere al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos, seguidamente la información recolectada se contabiliza en formatos adecuados para tal fin.

La *Figura 45* muestra el formato empleado para la inspección del pavimento rígido.



D 6433 – 07

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO

ZONA _____ ABSCISA INICIAL _____ UNIDAD DE MUESTREO _____ SECCION _____
ABSCISA FINAL _____ NUMERO DE LOSAS _____ AREA DE MUESTRA _____
INSPECCIONADA POR _____ FECHA _____

TIPOS DE DETERIOROS

21	PANDEO	31	PULIMENTO DE AGREGADOS
22	GRIETA DE ESQUINA	32	POPOUTS
23	LOSA DIVIDIDA	33	BOMBEO
24	GRIETA DE DURABILIDAD	34	PUNZONAMIENTO
25	ESCALA	35	CRUCE DE VIA FERREA
26	SELLO DE JUNTA	36	DESCONCHAMIENTO
27	DESNIVEL CARRIL / BERMA	37	RETRACCION
28	GRIETA LINEAL	38	DESCASCARAMIENTO DE ESQUINA
29	PARCHEO (GRANDE)	39	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA
30	PARCHEO (PEQUEÑO)		

DAÑO	SEVERIDAD	N° LOSAS	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO

SKETCH:

Figura N° 45. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie de concreto *(ASTM D6433, 2003)*.

Unidades de muestreo:

Se divide la vía en secciones o "unidades de muestreo", cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

Para el presente trabajo se consideró el pavimento de concreto de cemento Pórtland, considerando el área de la unidad de muestreo en un rango de 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación:

En la "evaluación de una red vial" puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la "evaluación de un proyecto" se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante

la *Ecuación 1*, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N\ x\ \sigma^2}{\frac{e^2}{4}\ x\ (N-1)+\sigma^2} \qquad \text{Ecuación 1}$$

donde:
n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.
N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.
e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)
s: Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Para una inspección inicial se asume una desviación estándar (s) de 15 para un pavimento rígido (rango PCI de 35), en inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco (n < 5), todas las unidades deberán evaluarse.

Selección de las unidades de muestreo para la inspección:

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la *Ecuación 2*:

$$i = \frac{N}{n} \qquad \text{Ecuación 2}$$

donde:
N: Número total de unidades de muestreo disponible.
n: Número mínimo de unidades para evaluar.
i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

b. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo *i*.

Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S+1), (S+2), etc.

Sí se requieren cantidades de daño exactas para una rehabilitación, todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

Selección de unidades de muestreo adicionales:

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, *"cruce de línea férrea"*) queden incluidas de forma inapropiada en el muestreo aleatorio.

La inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una *"unidad adicional"* en lugar de una *"unidad representativa"* o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento, por lo tanto, se recomienda seguir de manera estricta la guía de daños para obtener un valor de PCI confiable.

Procedimiento:

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el manual de daños, posteriormente se registra la información en el formato correspondiente. Se debe respetar la medida los daños establecidos en el manual y se usa la *hoja de información de exploración de la condición (Figura 45)* para cada unidad de muestreo, llenando cada renglón con un daño, su extensión y su nivel de severidad.

Una vez finalizada la inspección de campo, la información recolectada de todos los deterioros encontrados se contabilizan para realizar el cálculo del PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los *"Valores Deducidos"* de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad obtenidas en campo.

El cálculo del PCI en pavimentos rígidos se realiza mediante 4 etapas que son las siguientes (Vásquez, 2002):

Etapa 1. Cálculo de los *valores deducidos*:

Contabilizar el número de losas en las cuales ocurre cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad.

Dividir el número de losas contabilizado entre el número de losas de la unidad, se multiplica por 100 para de esta forma obtener un resultado en porcentaje (%) de la densidad por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.

Determinar los valores deducidos para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleando la curva de *"valor deducido de daño"* apropiada expuesta en la norma.

Etapa 2. Cálculo del número admisible máximo de deducidos (m).

Si ninguno o tan sólo uno de los "valores deducidos" es mayor que 2, se usa el "valor deducido total" en lugar del mayor "valor deducido corregido". De lo contrario, deben seguirse los siguientes pasos:

Enlistar los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

Determinar el *"número máximo admisible de valores deducidos" (m)*, utilizando la E*cuación 3:*

$$m = 1.00 + \frac{9}{98}\,(100 - HDV_i) \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:
m: Número máximo admisible de "valores deducidos", incluyendo fracción, para la unidad de muestreo *i*.
HDVi: El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo (i).
El número de valores individuales deducidos se reduce a *m*, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que *m* se utilizan todos los que se tengan.

En la *Figura 46 se* muestra la gráfica para el ajuste del número de valores deducidos "m", donde se utiliza el valor deducido más alto.

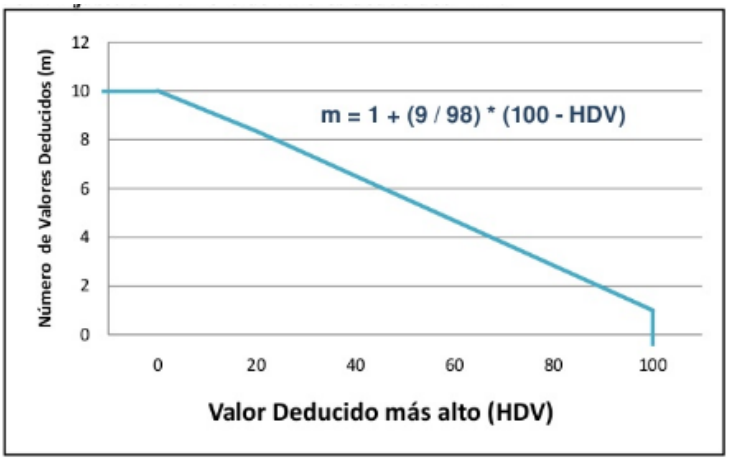


Figura N° 46. Ajuste del número de valores deducidos "m", CDV vs. DV *(ASTM D6433, 2003)*.

Etapa 3. Cálculo del "máximo valor deducido corregido", CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

Determinar el número de valores deducidos, *q* (número de deducciones superiores a 2).

Determinar el "valor deducido total" sumando todos los valores deducidos individuales.

Determinar el CDV con *q* y el "valor deducido total" en la curva de corrección pertinente al pavimento rígido, empleando las gráficas de corrección.

En la *Figura 47* se observa las curvas de corrección donde "*q"* es el número de deducciones superiores a 2 puntos.

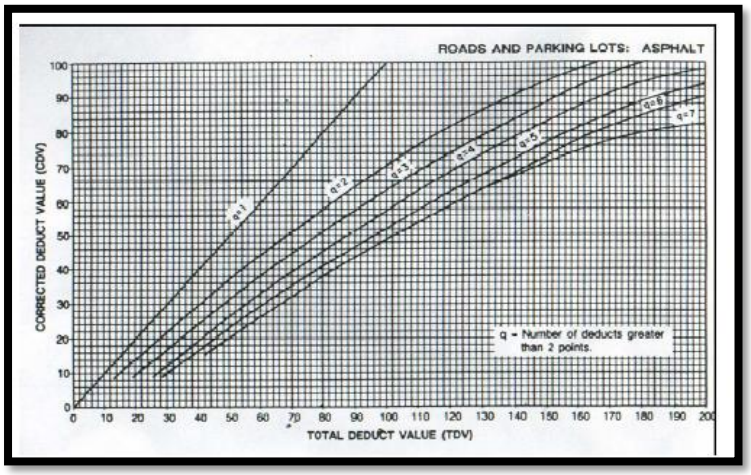


Figura N° 47. Corrección de los Valores Deducidos *(AASHTO, 1993)*.

Reducir a 2.0 el menor de los "valores deducidos" individuales que sea mayor que 2.0 y repetir las etapas anteriormente expuestas hasta que *q* sea igual a 1.

El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Etapa 4. Calcular el PCI restando de 100 el máximo CDV.

Cálculo del PCI de una sección de pavimento:

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo.

Si se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_S = \frac{[(N-A)\ x\ PCI_R\ ]+(A\ x\ PCI_A)}{N} \qquad \text{Ecuación 4}$$

donde:
PCI_S: PCI de la sección del pavimento.
PCI_R: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.
PCI_A: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.
N: Número total de unidades de muestreo en la sección.
A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

Curvas para pavimentos rígidos:

A continuación se presentan una de las gráficas correspondientes a las fallas establecidas en la norma ASTM D6433, contempladas en el método PCI, a través de las cuales se conocerá el valor de deducción (VD) (Vásquez, 2002). Las curvas de los distintos tipos de deterioros que se utilizaron para la evaluación se muestran en el *Anexo B*.

Para la ejemplificación se ha usado la gráfica de grieta de esquina (*Figura 48)*, misma que muestra tres curvas según la severidad del deterioro.

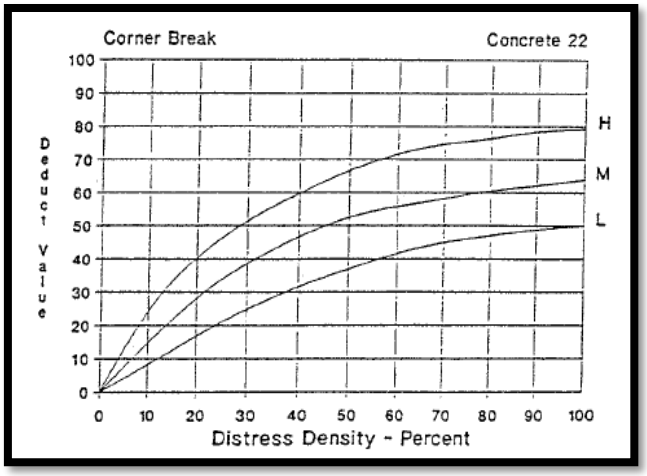


Figura N° 48. Curva para grieta de esquina *(AASHTO, 1993)*.

3.2 APLICACIÓN DEL PCI

Se realizará la aplicación de la metodología del PCI de la avenida Loja. Se registra los datos de campo hasta obtener el estado de la capa de rodadura. Cabe recalcar la importancia de realizar una evaluación funcional antes de plantear futuras intervenciones a la red vial, es por esta razón que el trabajo de titulación servirá para proponer medidas de reparación en la vía, al igual que ayudará en la guía para evaluaciones futuras a otros pavimentos rígidos de la ciudad de Cuenca o vías en condiciones similares.

3.2.1 Evaluación visual del pavimento

Es complicado predecir el comportamiento de una vía, siempre ha existido la necesidad de crear y aplicar métodos para la evaluación del pavimento, destinados a observar los diversos factores que pueden afectar lo estructural y vida útil del pavimento, sin embargo, no es un procedimiento sencillo debido a que involucra detalles económicos, seguridad vial y servicio que brindará la vía.

La evaluación visual se contabilizó en los formatos de exploración diseñados por la norma ASTM D6433 (*Figura 45*); con la información recolectada se evidencia la obtención de (93) formatos de exploración, con los datos obtenidos se procedió al desarrollo del cálculo del índice de condición del pavimento (PCI) para cada formato.

Para evaluar la vía se dividido en tres tramos, esta decisión se basa en inspección visual general, donde se observó:

Tramo 1 avenida de las Américas – avenida Don Bosco presenta un pavimento rígido donde prevalece los deterioros como: *parcheo grande, grietas lineales y grieta de esquina, popouts y escalonamiento*.

Tramo 2 avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo presenta un pavimento rígido donde prevalece los deterioros como: *parcheo grande, grieta lineal y losa dividida*. En esta sección se puede ver un pavimento fallado en la mayoría de su longitud con necesidad en algunos casos de reemplazo de losas.

Tramo 3 avenida 1ero de Mayo – avenida 10 de Agosto presenta un pavimento rígido donde prevalece los deterioros como: *grieta lineal y losa dividida*. En esta sección se puede observar un pavimento bueno que presenta las mínimas fallas con respecto a los otros tramos.

Para la selección de estos tramos se observó unidades de muestreo con daños repetitivos en las secciones anteriormente mencionadas. En la *Tabla 7* se presenta los deterioros que presentan mayor incidencia, de esta manera se puede observar que incluirlos en tramos de 500 metros sería una manera inapropiada debido a que generan un cierto cambio en los resultados, es por esta razón que para evitar obtener resultados un poco alejados de la realidad se optó por realizar una unidad de muestreo total, es decir, se evaluó el 100% de las losas que conforman el proyecto.

Tabla 7. Daños representativos en cada tramo.

N° Tramo	Deterioros
1	Grieta de durabilidad Escalonamiento Grieta lineal Parcheo grande Popouts Pulido de agregados
2	Grieta de esquina Losa dividida Grieta lineal Parcheo grande Parcheo pequeño Pulido de agregados
3	Grieta lineal Losa dividida Pulido de agregados

A manera de justificar la selección de los tramos que serán estudiados en el presente trabajo se tomó en cuenta que el pavimento rígido de la avenida Loja se encuentra constituido por tres ramas viales de alta importancia que a diario permiten el acceso de una numerosa cantidad de vehículos particulares y públicos de partes alejadas hacia el centro de la ciudad.

3.2.2 Datos generales

El trabajo de titulación se realizó a lo largo de la avenida Loja de la ciudad de Cuenca, la misma que está formada en su mayoría por pavimento rígido, y en longitudes menores por adoquín y pavimento flexible. El tramo a estudiar tiene una longitud de 2.5km, con su inicio en la progresiva: 0+000 y está ubicado en las coordenadas UTM 722461 E Y 9778804 N.

En la *Figura 49* se presenta la ubicación de la avenida Loja (Cuenca), tramo avenida de las Américas – avenida 10 de Agosto, en las coordenadas UTM (722461 E, 9778804 N); finalizando en las coordenadas (719547 E, 9678756N).

Figura N° 49. Ubicación geológica de la avenida Loja (Cuenca)
Fuente: Google Maps. (Editado por autor).

En la *Figura 50*, se presenta la tramificación de la vía formada por tres tramos para el estudio de la vía mediante la aplicación del método del PCI.

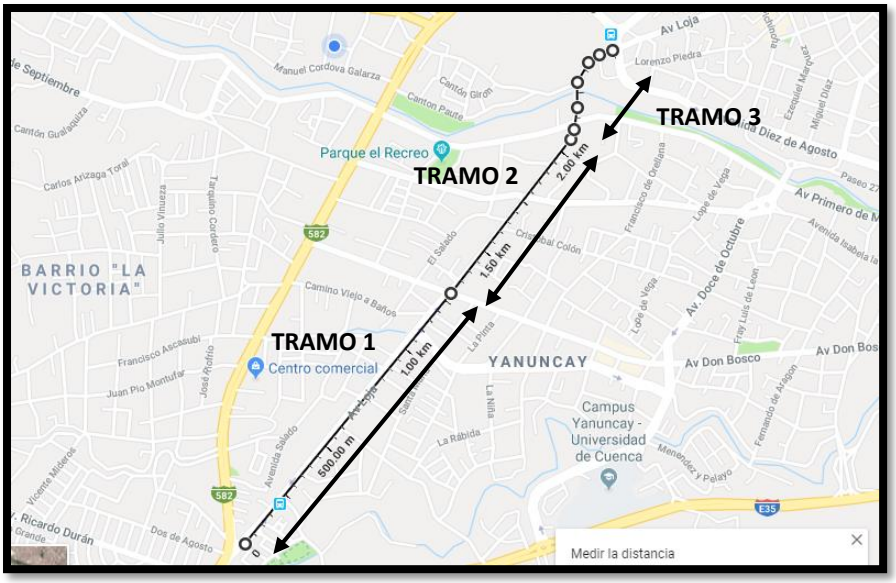


Figura N° 50. Ubicación de tramos seleccionados para el estudio de la avenida Loja (Cuenca).
Fuente: Google Maps. (Editado por autor).

3.2.3 Características de la vía

A continuación en la *Tabla 8* se muestra las características geométricas que presenta cada tramo de la vía:

Tabla 8. Características geométricas de los tramos de la avenida Loja.

Tramo	Ancho de la calzada (m)	Sentido de la vía	Número de carriles	Berma	Cunetas
Avenida de las Américas – Avenida Don Bosco	3.40 - 3.50	Doble Vía	4	Sin Berma	Sin cuneta
Avenida Don Bosco – Avenida 1ero de Mayo	3.90 – 4.00	Doble Vía	2	Sin Berma	Sin cuneta
Avenida 1ero de Mayo – Avenida 10 de Agosto	3.80 – 3.90	Doble Vía	2	Sin Berma	Sin cuneta

3.2.4 Programas usados para el cálculo del PCI

A continuación se presenta el desarrollo de tres ejemplos ilustrativos que indican distintos tipos de procedimientos para el cálculo del PCI:

- Software PCI – PC17 (Peñaloza & Calle, 2017).
- Software UnalPCIC (Vásquez, 2002).

Para valorar los programas usados, se realizó una comprobación que incluye un ejemplo realizado de forma manual, se debe tener en cuenta que ésta manera de procesamiento de datos es lenta y difícil de realizar para tramos que comprenden distancias de grandes alcances, es por esta razón que se recuerda al lector que no se ha hecho un cálculo total de manera manual del proyecto.

Para el procedimiento manual se realiza el siguiente procedimiento:

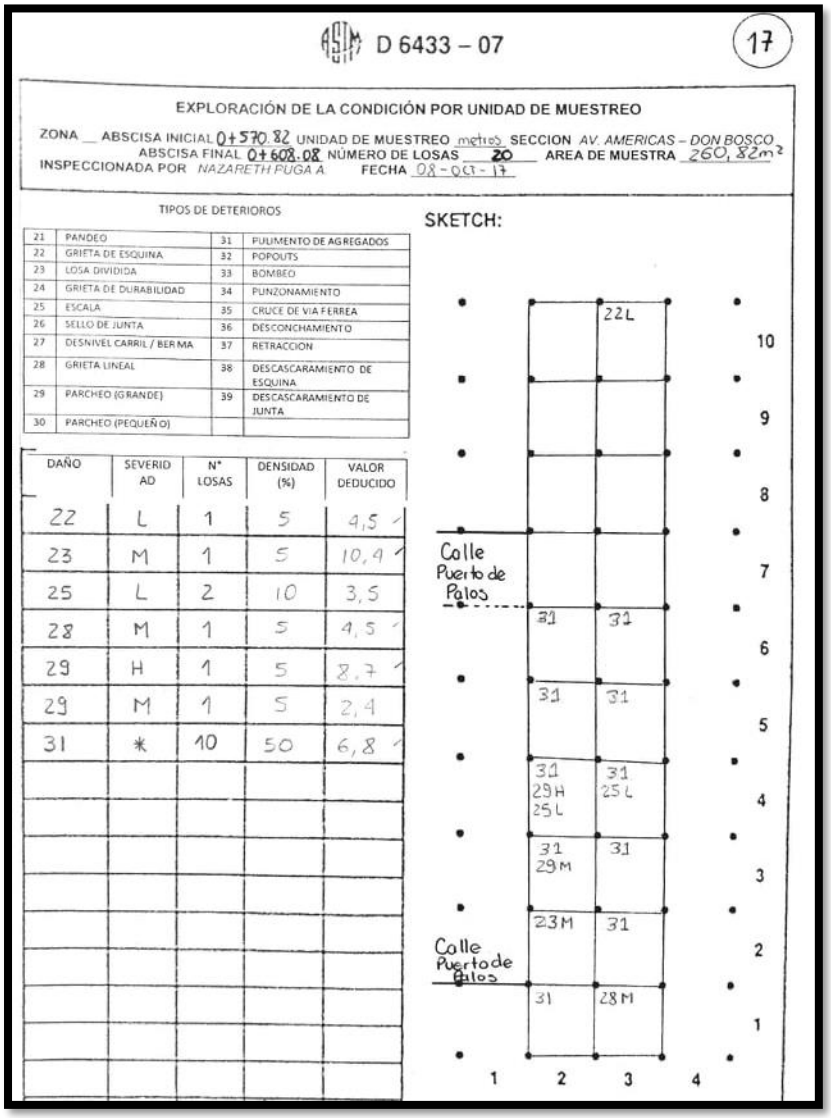
Paso 1: Determinación del número y áreas de cada sección de medición de PCI.

Paso 2: Identificación del tipo de falla y medición de su severidad y magnitud.

Con los materiales anteriormente mencionados se procede a realizar la inspección visual, observación de los deterioros y mediciones de los mismos siguiendo la norma ASTM D6433, junto con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para desarrollar la evaluación.

Dentro del procedimiento se inspecciona la unidad de muestreo indicada, midiendo el tipo de deterioro, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y posteriormente se registra la información en el formato (*Figura 45*) correspondiente. Para realizar una correcta evaluación se deberá tener un conocimiento amplio y estricto sobre las definiciones y procedimientos de medida de los deterioros.

A continuación la *Figura 51* presenta el formato de exploración debidamente llenado con los datos obtenidos durante la evaluación correspondiente al tramo 1 avenida de las Américas – avenida Don Bosco, con número # *17*.



D 6433 – 07

17

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO

ZONA __ ABSCISA INICIAL 0+570.82 UNIDAD DE MUESTREO metros SECCION AV. AMERICAS – DON BOSCO
ABSCISA FINAL 0+608.08 NÚMERO DE LOSAS 20 AREA DE MUESTRA 260,82m²
INSPECCIONADA POR NAZARETH PUGA A. FECHA 08-OCT-17

TIPOS DE DETERIOROS

21	PANDEO	31	PULIMENTO DE AGREGADOS
22	GRIETA DE ESQUINA	32	POPOUTS
23	LOSA DIVIDIDA	33	BOMBEO
24	GRIETA DE DURABILIDAD	34	PUNZONAMIENTO
25	ESCALA	35	CRUCE DE VIA FERREA
26	SELLO DE JUNTA	36	DESCONCHAMIENTO
27	DESNIVEL CARRIL / BERMA	37	RETRACCION
28	GRIETA LINEAL	38	DESCASCARAMIENTO DE ESQUINA
29	PARCHEO (GRANDE)	39	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA
30	PARCHEO (PEQUEÑO)		

DAÑO	SEVERIDAD	N° LOSAS	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
22	L	1	5	4,5
23	M	1	5	10,4
25	L	2	10	3,5
28	M	1	5	4,5
29	H	1	5	8,7
29	M	1	5	2,4
31	*	10	50	6,8

SKETCH:

Figura N° 51. Formato de exploración tramo 1 avenida de las Américas – avenida Don Bosco. *Fuente:* ASTM D6433 (Editado por el autor).

Para la obtención de la Densidad (%) se realiza la siguiente operación:

$$Densidad\ (\%) = \frac{\#\ de\ losas\ afectadas\ por\ cada\ deterioro}{\#\ total\ de\ losas\ evaluadas} * 100$$ Ecuación 5.

Para el caso del análisis de tramos se utiliza la *Ecuación 5*, por lo tanto los valores del ejemplo propuesto se indican en la *Tabla 9*:

$$Densidad\ (\%) = \frac{10}{20} * 100 = 50$$

Tabla 9. Resultados de aplicar ecuación 5, para obtención de densidad (%).

Daño	Severidad	N° losas	Densidad
22	L	1	5
23	M	1	5
25	L	2	10
28	M	1	5
29	H	1	5
29	M	1	5
31	*	10	50

Paso 3: Determinación del "valor de deducción".

3.1 Cálculo de los valores de deducción (VD)

3.1. a. Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño.

3.1. b. Dividir la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y expresar el resultado como porcentaje.

3.1. c. Determinar el valor de deducción para cada tipo de daño y severidad mediante las curvas denominadas "valor de deducción".

En el ejemplo que se realiza, la falla 22 (Grieta de esquina), posee una densidad de 5% y una severidad baja (L), mediante el *Figura 52*, se obtiene un "valor de deducción" de *4,5*.

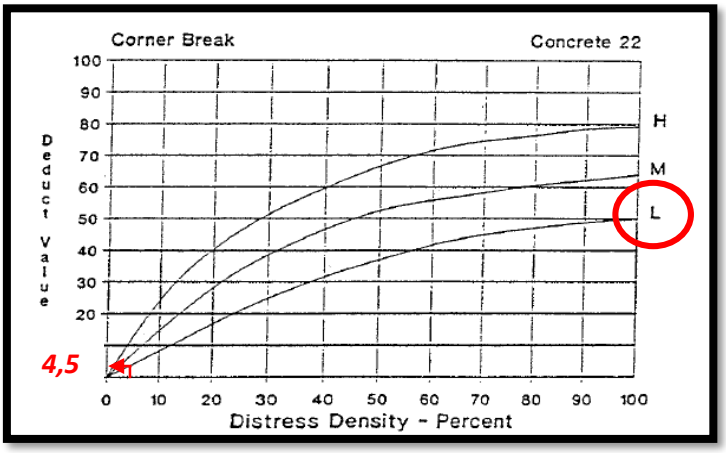


Figura N° 52. Curva para el valor de deducción del deterioro "Grieta de esquina".
Fuente: AASHTO (1993) (Editado por el autor).

De igual manera, la falla 23 (Losa dividida), con densidad de 5%, y con una severidad media (M), mediante el *Figura 53*, se obtiene un "valor de deducción" de *10,4*.

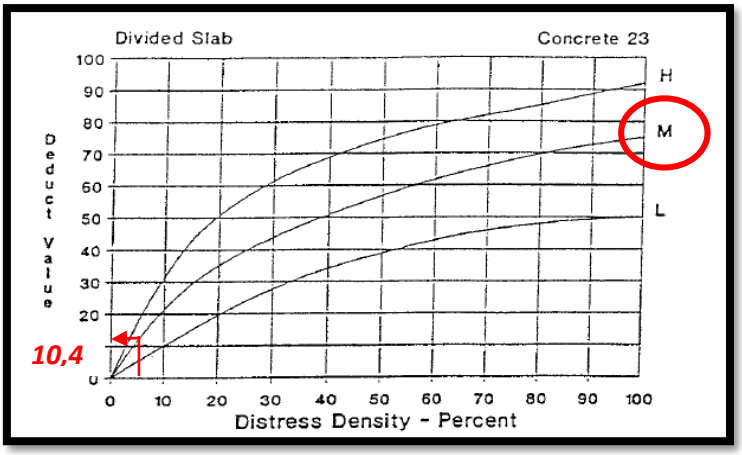


Figura N° 53. Curva para el valor de deducción del deterioro "Losa dividida".
Fuente: AASHTO (1993) (Editado por el autor).

La falla 29 (Parcheo grande), con una densidad de 5% y una severidad alta (H), mediante el *Figura 54*, se obtiene un "valor de deducción" de *8,7*.

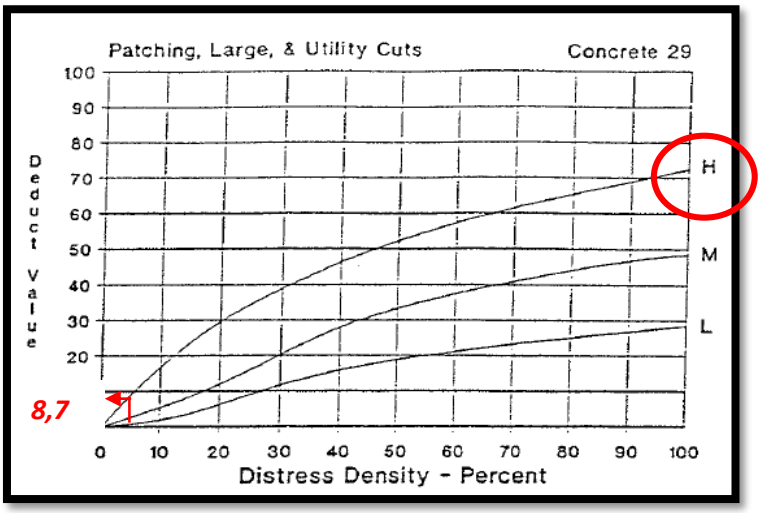


Figura N° 54. Curva para el valor de deducción del deterioro "Parcheo grande".
Fuente: AASHTO (1993) (Editado por el autor).

A continuación se presenta la *Tabla 10*, muestra los "valores de deducción" que se obtuvieron para el ejemplo.

Tabla 10. Resultados de "valores de deducción" del formato de exploración # 17.

Daño	Severidad	N° losas	Severidad	Valor deducido
22	L	1	5	4,5
23	M	1	5	10,4
25	L	2	10	3,5
28	M	1	5	4,5
29	H	1	5	8,7
29	M	1	5	2,4
31	*	10	50	6,8

Paso 4: Cálculo del valor de deducción total (VDT).

4.1. Listar los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

Valor deducido
10.4
8.7
6.8
4,5
4.5
3.5

2.4
41

4.2. Determinar el "número máximo admisible de valores deducidos" (m), utilizando la *Ecuación 3:*

$$m = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 10.4)$$

$$\boldsymbol{m = 9.23}$$

4.3. El número de valores individuales deducidos se reduce a *m*, incluyendo la parte fraccionaria. En este caso se dispone de menos valores a los que indica *m*, por lo tanto se utilizan todos los valores que se tengan.

Paso 5: Cálculo del valor de deducción corregido (VDC), en función del VDT y del número de valores de VDT que sean mayores que cinco (5) (valor "q").

En el ejemplo q=7 debido a que se tiene siete (7) valores de deducción mayores que dos (2).

En la *Tabla 11*, presenta el cálculo del valor de deducción corregido (VDC).

Tabla 11. Resultado del cálculo de valor de deducción corregido VDC.

Valores deducidos							**Total**	**q**	**VDC**
10,4	8,7	6,8	4,5	4,5	3,5	2,4	41	7	18
10,4	8,7	6,8	4,5	4,5	3,5	2	40	6	18
10,4	8,7	6,8	4,5	4,5	2	2	39	5	20
10,4	8,7	6,8	4,5	2	2	2	36	4	21
10,4	8,7	6,8	2	2	2	2	34	3	21
10,4	8,7	2	2	2	2	2	29	2	22
10,4	2	2	2	2	2	2	22	1	22
2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
2	2	2	2	2	2	2	2	0	0

Paso 6: Cálculo del índice de condición del pavimento (PCI). Se utiliza la gráfica de "valor de deducción corregida", donde se buscará el valor de VDC, el cual será finalmente restado de 100. Para este procedimiento se utiliza la *Figura 47.*

En la *Figura 55* se muestra un ejemplo del uso de la curva para encontrar el valor de deducción corregida que posteriormente nos servirá para obtener el valor final del PCI.

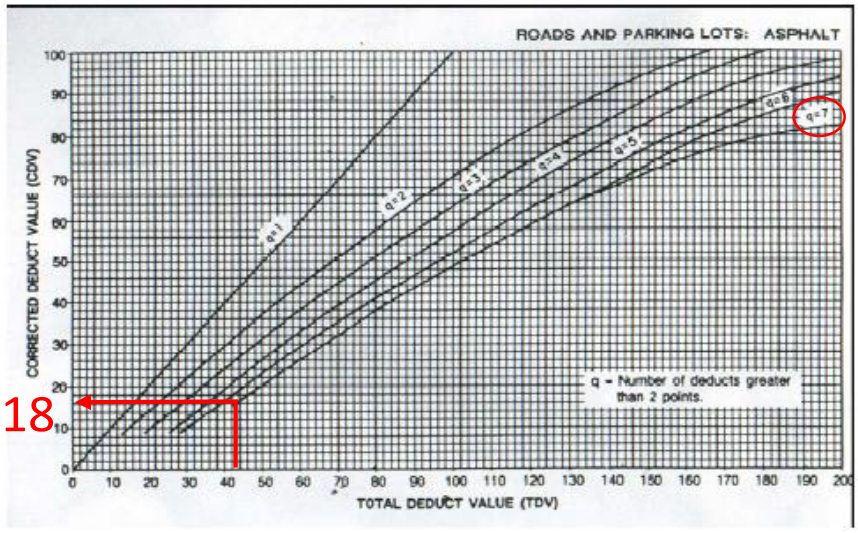


Figura N° 55. Ejemplo del uso de las curvas "Valor de deducción corregida".
Fuente: AASHTO (1993) (Editado por el autor).

Para el ejemplo, se tiene (**VDC= 18**), por lo tanto:

PCI = 100 – 18 = **78**

Es decir que la condición funcional de este pavimento es **"Muy bueno".**

Considerando los avances en los equipos de cómputo y las características sistemáticas de la metodología del PCI se han ido creando diferentes algoritmos que han permitido hacer más rápida la recolección, procesamiento y análisis de información (minimizando los errores) sobre deterioros de los pavimentos, por esta razón se han creado programas de computadora como: Software PCI – PC17 (Peñaloza & Calle, 2017) y Software UnalPCI (Vásquez, 2002) para el análisis de datos y cálculo de PCI, mismos que han servido para el desarrollo de este trabajo.

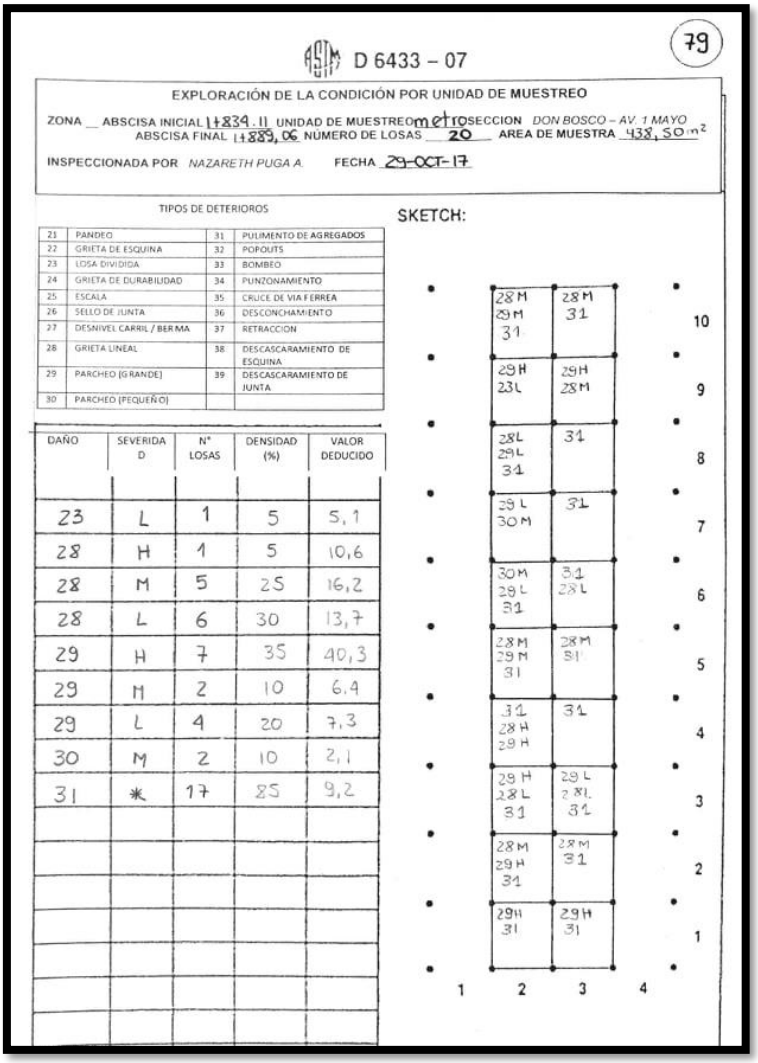
A continuación, se presentan dos ejemplos ilustrativos que muestran el funcionamiento de los programas:

3.2.4.1 Software PCI – PC17

Dentro de la metodología para la determinación del PCI mediante este software se utilizó los 93 formatos de exploración (*Figura 47*) obtenidos durante la evaluación visual, posteriormente el programa y para su calificación se hizo basada en la *Figura 44* (Grados de la condición del pavimento PCI) de acuerdo a la norma ASTM D6433.

Este software posee un formato diferente para cada tipo de pavimento; empleando un formato para la evaluación del pavimento flexible y rígido, en este trabajo se requirió únicamente el programa para pavimento rígido.

En el ejemplo 2 la *Figura 56* muestra el formato de exploración correspondiente al tramo 2 avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo, con el número # 79.



79

D 6433 – 07

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO

ZONA __ ABSCISA INICIAL 14839.11 UNIDAD DE MUESTREO metro SECCION DON BOSCO – AV. 1 MAYO
ABSCISA FINAL 14889,06 NÚMERO DE LOSAS 20 AREA DE MUESTRA 438,50 m²

INSPECCIONADA POR NAZARETH PUGA A. FECHA 29-OCT-17

TIPOS DE DETERIOROS

21	PANDEO	31	PULIMENTO DE AGREGADOS
22	GRIETA DE ESQUINA	32	POPOUTS
23	LOSA DIVIDIDA	33	BOMBEO
24	GRIETA DE DURABILIDAD	34	PUNZONAMIENTO
25	ESCALA	35	CRUCE DE VIA FERREA
26	SELLO DE JUNTA	36	DESCONCHAMIENTO
27	DESNIVEL CARRIL / BERMA	37	RETRACCION
28	GRIETA LINEAL	38	DESCASCARAMIENTO DE ESQUINA
29	PARCHEO (GRANDE)	39	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA
30	PARCHEO (PEQUEÑO)		

DAÑO	SEVERIDAD	N° LOSAS	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
23	L	1	5	5,1
28	H	1	5	10,6
28	M	5	25	16,2
28	L	6	30	13,7
29	H	7	35	40,3
29	M	2	10	6,4
29	L	4	20	7,3
30	M	2	10	2,1
31	*	17	85	9,2

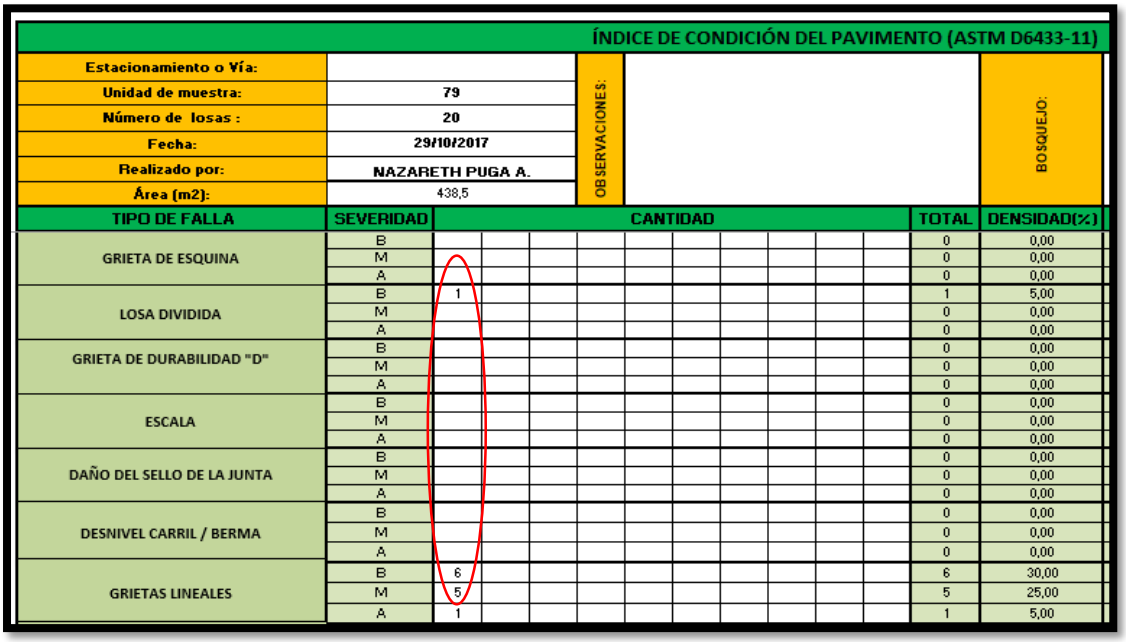
SKETCH:

Figura N° 56. Formato de exploración tramo 2 avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo.
Fuente: ASTM D6433 (Editado por el autor).

En la *Figura 57* se observa dos opciones que da el programa para la evaluación del pavimento mediante el método del PCI, para el caso en estudio se selecciona la opción PCI-R11 (pavimento rígido).

Figura N° 57. Software PCI-PC17 para pavimento rígido.
Fuente: Peñaloza & Calle (2017) (Editado por el autor).

En la *Figura 58* se muestra la plantilla con los datos que se recolectaron durante la inspección visual del pavimento.



ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (ASTM D6433-11)

Estacionamiento o Vía:	
Unidad de muestra:	79
Número de losas :	20
Fecha:	29/10/2017
Realizado por:	NAZARETH PUGA A.
Área (m2):	438,5

OBSERVACIONES:

BOSQUEJO:

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD										TOTAL	DENSIDAD(%)
GRIETA DE ESQUINA	B											0	0,00
	M											0	0,00
	A											0	0,00
LOSA DIVIDIDA	B	1										1	5,00
	M											0	0,00
	A											0	0,00
GRIETA DE DURABILIDAD "D"	B											0	0,00
	M											0	0,00
	A											0	0,00
ESCALA	B											0	0,00
	M											0	0,00
	A											0	0,00
DAÑO DEL SELLO DE LA JUNTA	B											0	0,00
	M											0	0,00
	A											0	0,00
DESNIVEL CARRIL / BERMA	B											0	0,00
	M											0	0,00
	A											0	0,00
GRIETAS LINEALES	B	6										6	30,00
	M	5										5	25,00
	A	1										1	5,00

Figura N° 58. Plantilla que usa el programa para cada formato de exploración.
Fuente: Peñaloza & Calle (2017) (Editado por el autor).

En la *Figura 59* se observa el resultado de los datos ingresados al programa, teniendo como resultado un valor del PCI para cada formato de exploración.

Figura N° 59. Resultado de PCI, para el formato de exploración # 79.
Fuente: Peñaloza & Calle (2017) (Editado por el autor).

Para el ejemplo 2, con la utilización del software PCI – PC17 el resultado es:

PCI = 48

Es decir que la condición funcional de este pavimento es **"Regular".**

3.2.4.2 Software UnalPCIC

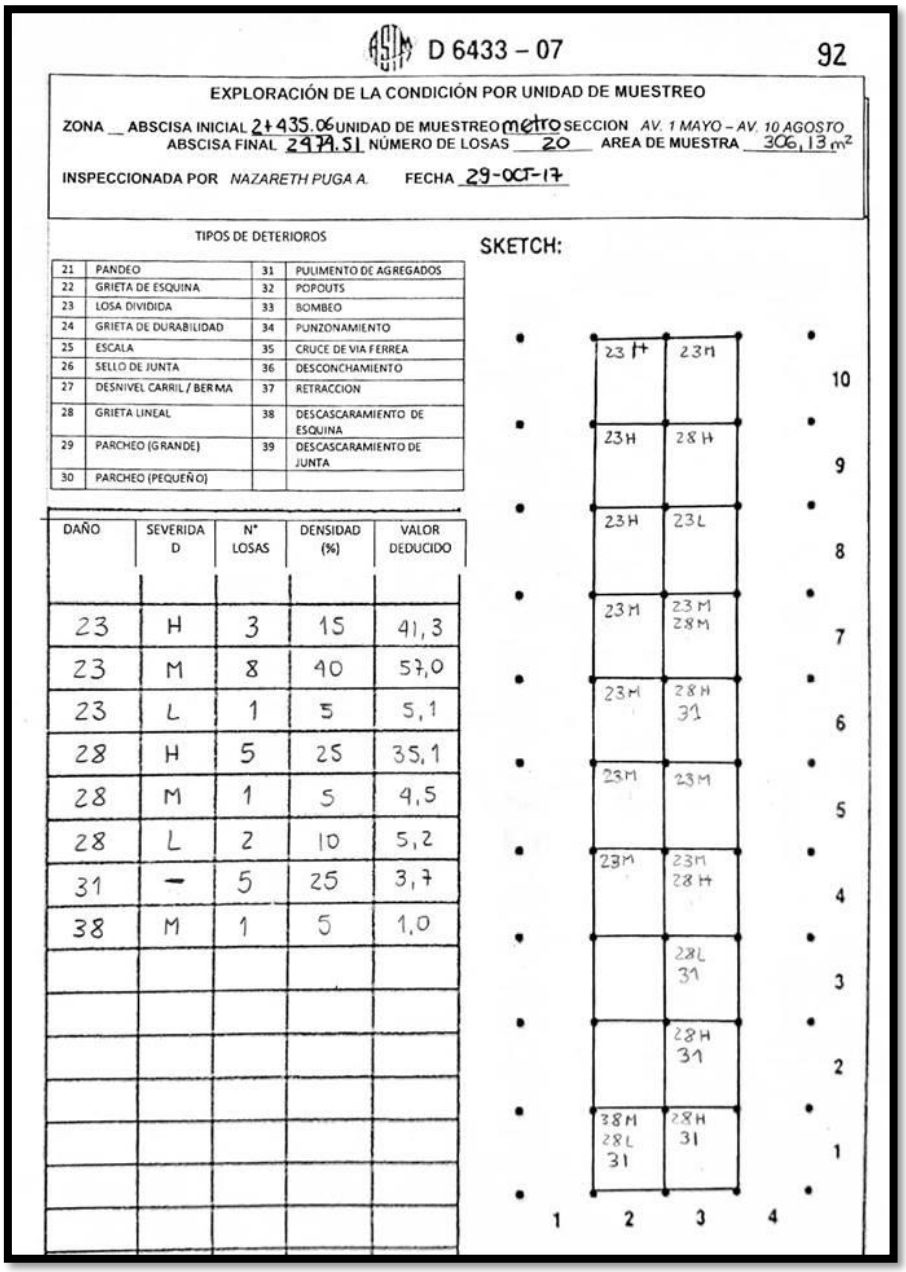
El fundamento del programa UnalPCIC es la metodología del PCI tal como se encuentra en el libro "Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots" (Shahin, 1994), también disponible en idioma español "Curso de Actualización de Pavimentos" del Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela (2002).

La *Tabla 12* muestra la Escala de valoración que usa el software UnalPCIC Shahin (1994) con una calificación diferente a la norma ASTM D6433 pero sus rangos se mantienen iguales.

Tabla 12. Escala de valoración software UnalPCIC.

Calificación	Rango
Bueno	100 – 85
Satisfactorio	85 – 70
Regular	70 – 55
Malo	55 – 40
Muy malo	40 – 25
Grave	25 – 10
Fallado	10 – 0

La aplicación del software comienza luego de la inspección del pavimento con la metodología del PCI. En la *Figura 60* se muestra el formato de exploración # 92.



ASTM D 6433 – 07 92

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO

ZONA __ ABSCISA INICIAL 2+435.06 UNIDAD DE MUESTREO metro SECCION AV. 1 MAYO – AV. 10 AGOSTO
ABSCISA FINAL 2979.51 NÚMERO DE LOSAS 20 AREA DE MUESTRA 306,13 m²

INSPECCIONADA POR NAZARETH PUGA A. FECHA 29-OCT-17

TIPOS DE DETERIOROS

21	PANDEO	31	PULIMENTO DE AGREGADOS
22	GRIETA DE ESQUINA	32	POPOUTS
23	LOSA DIVIDIDA	33	BOMBEO
24	GRIETA DE DURABILIDAD	34	PUNZONAMIENTO
25	ESCALA	35	CRUCE DE VIA FERREA
26	SELLO DE JUNTA	36	DESCONCHAMIENTO
27	DESNIVEL CARRIL / BERMA	37	RETRACCION
28	GRIETA LINEAL	38	DESCASCARAMIENTO DE ESQUINA
29	PARCHEO (GRANDE)	39	DESCASCARAMIENTO DE JUNTA
30	PARCHEO (PEQUEÑO)		

DAÑO	SEVERIDAD	N° LOSAS	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
23	H	3	15	41,3
23	M	8	40	57,0
23	L	1	5	5,1
28	H	5	25	35,1
28	M	1	5	4,5
28	L	2	10	5,2
31	—	5	25	3,7
38	M	1	5	1,0

SKETCH:

Figura N° 60. Formato de exploración tramo 3 avenida 1ero de Mayo - avenida 10 de Agosto.
Fuente: Peñaloza & Calle (2017) (Editado por el autor).

En la *Figura 61* se encuentra la información total de las hojas de campo digitada en una hoja de Excel del software UnalPCIC para pavimento rígido.

ADVERTENCIA: Recuerde que para el correcto funcionamiento del programa UNPCIC es necesario que

Código de la sección	Fecha de inspección	Abscisa inicial	Abscisa final	Unidad de inspección	Número de losas en la unidad	21. Rotura por pandeo			22. Rotura de la esquina			23. Losa dividida			24. Griet durabilida	
						Low	Medium	High	Low	Medium	High	Low	Medium	High	Low	Mediu
PG2000	29/10/2017		2110,76	83	20									9		
PG2000	29/10/2017	2110,76	2144,31	84	10											
PG2000	29/10/2017	2144,31	2194,01	85	20											
PG2000	29/10/2017	2194,01	2240,86	86	17							1				
PG2000	29/10/2017	2240,86	2276,81	87	19				1							
PG2000	29/10/2017	2276,81	2313,26	88	20							1			1	
PG2000	29/10/2017	2313,26	2354,96	89	20							5	3			
PG2000	29/10/2017	2354,96	2395,96	90	20				1				1		1	
PG2000	29/10/2017	2395,96	2435,06	91	20				1	1		1	5		1	
PG2000	**29/10/2017**	**2435,1**	**2474,5**	**92**	**20**							**1**	**8**	**3**		
PG2000	29/10/2017	2474,51	2490,06	93	8					1						

Figura N° 61. Hoja de Excel llenada con los resultados obtenidos en inspección total de la avenida Loja.
Fuente: Peñaloza & Calle (2017) (Editado por el autor).

Al ejecutar el software UnalPCIC.exe se genera un archivo con el cálculo del PCI para cada formato de exploración, para el ejemplo 3 se analiza la *muestra # 92,* perteneciente al tramo 3 avenida 1ero de Mayo – avenida 10 de Agosto. Obteniendo como resultado lo presentado en la *Figura 62.*

```
InventariodedañosAVLOJA_PG2000_92.txt: Bloc de notas
Archivo  Edición  Formato  Ver  Ayuda
CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO. UNPCIC2016
Por:  Luis Ricardo Vásquez Varela - M.Sc.
Pavimentos de concreto de cemento Pórtland
-------------------------------------------------------------------------------
Archivo           :          InventariodedañosAVLOJA.csv
Código vía        :          PG2000
Fecha inspección  :          29-10-17
Abscisa inicial   :          K2+435.06
Abscisa final     :          K2+474.51
Unidad            :          092
Losas unidad -un-:           20
-------------------------------------------------------------------------------
Daño        (severidad)  Unidad    Cantidad          Densidad(%)    Valor deducible
-------------------------------------------------------------------------------
23.Losa dividida    (L) - losa:        01                005.0            005.1
23.Losa dividida    (M) - losa:        08                040.0            049.9
23.Losa dividida    (H) - losa:        03                015.0            042.7
28.Grietas lineales (L) - losa:        02                010.0            005.9
28.Grietas lineales (M) - losa:        01                005.0            004.0
28.Grietas lineales (H) - losa:        05                025.0            031.6
31.Puli. agregados(LMH) - losa:        05                025.0            004.6
38.Astilla. esquina (M) - losa:        01                005.0            001.6

Número de valores deducibles: 8

-------------------------------------------------------------------------------

Valor deducible corregido máximo                                  : 78.2
Índice de Condición del Pavimento (PCI) de la unidad de inspección : 21.8
Estándar de calificación ASTM D6433-11                            : Grave
```

Figura N° 62. Resultado de PCI, para el formato de exploración # 92.
Fuente: Peñaloza & Calle (2017) (Editado por el autor).

Para el ejemplo 3, usando el software UnalPCIC el resultado es:

PCI = 21.8

Es decir que la condición funcional de este pavimento es **"Grave".**

3.3 RESULTADOS

Antes de presentar los resultados se presenta la *Tabla 13* donde se puede observar las calificaciones obtenidas mediante el proceso manual y el uso de los programas antes mencionados de tres formatos de exploración elegidos al azar, esta tabla se realizó con la finalidad de validar los resultados obtenidos.

Tabla 13. Calificación mediante el proceso manual y uso de software.

N° Tramo	Ubicación	N° Muestra	Resultados		
			Manual	PCI - PC17	UnalPCIC
1	Av. Américas – Av. Don Bosco	17	78 *Muy Bueno*	78 *Muy Bueno*	77,2 *Satisfactorio*
2	Av. Don Bosco – Av. 1 de Mayo	79	47 *Regular*	48 *Regular*	45,4 *Malo*
3	Av. 1 de Mayo – Av. 10 de Agosto	92	27 *Pobre*	27 *Pobre*	21,8 *Grave*

Para el procedimiento de los datos de los 93 formatos de exploración se utilizó el método del PCI programado en hojas de cálculo tipo Excel mediante los programas anteriormente mencionados, a continuación se presenta la *Tabla 14* que muestra el número total de formatos de exploración recolectados para la evaluación de los 2,5 km que comprenden los 3 tramos de la avenida Loja:

Tabla 14. Detalle de formatos de exploración de la avenida Loja.

N° Tramo	Ubicación	N° de Carriles	N° Muestra	Total de losas
1	Avenida de las Américas – Avenida Don Bosco	4	68	1423
2	Avenida Don Bosco – Avenida 1ero de Mayo	2	16	310
3	Avenida 1ero de Mayo – Avenida 10 de Agosto	2	9	164

Los resultados de la evaluación funcional realizada al pavimento de la avenida Loja se muestran en la *Tabla 15, 16, 17* obtenidos en un análisis individual de cada tramo de la vía, donde se tiene definido el número de formatos de exploración.

3.3.1 Software PCI – PC17

Tabla 15. Resultado obtenido en la inspección visual de la avenida Loja, tramo 1 avenida de las Américas – avenida Don Bosco.

Tramo avenida de las Américas - avenida Don Bosco				
N° hoja	**Abscisas**		**PCI**	**Calificación**
1	0	24,75	97	Excelente
2	24,75	63,72	78	Muy bueno
3	63,72	100,1	97	Excelente
4	100,1	132,4	51	Regular
5	132,4	171,58	89	Excelente
6	171,58	207,76	92	Excelente
7	207,76	244,41	78	Muy bueno
8	244,41	282,48	85	Muy bueno
9	282,48	320,61	93	Excelente
10	320,61	354,08	94	Excelente
11	354,08	389,82	96	Excelente
12	389,82	427,11	95	Excelente
13	427,11	465,91	84	Muy bueno
14	465,91	498,7	81	Muy bueno
15	498,7	534,74	95	Excelente
16	534,74	570,82	83	Muy bueno
17	**570,82**	**608,08**	**78**	**Muy bueno**
18	608,08	648,67	90	Excelente
19	648,67	688,87	71	Muy bueno
20	688,87	728,13	100	Excelente
21	728,13	765,16	82	Muy bueno
22	765,16	805,52	82	Muy bueno
23	805,52	843,3	93	Excelente
24	843,3	881,04	97	Excelente
25	881,04	920,07	92	Excelente
26	920,07	964,7	79	Muy bueno
27	964,7	1005,05	63	Bueno
28	1005,05	1049,7	86	Excelente
29	1049,7	1094,41	85	Excelente
30	1094,41	1137,39	89	Excelente
31	1137,39	1176,55	73	Muy bueno

32	1176,55	1215,82	89	Excelente
33	1215,82	1261,22	67	Bueno
34	1261,22	1286,72	49	Regular
			84	**Muy bueno**

Carril paralelo tramo avenida de las Américas - avenida Don Bosco				
35	0	25,85	93	Excelente
36	25,85	55,8	89	Excelente
37	55,8	87,67	87	Excelente
38	87,67	124,88	72	Muy bueno
39	124,88	161,6	91	Excelente
40	161,6	199,59	92	Excelente
41	199,59	237,86	91	Excelente
42	237,86	271,43	70	Bueno
43	271,43	309,04	96	Excelente
44	309,04	346,58	87	Excelente
45	346,58	384,11	75	Muy bueno
46	384,11	421,14	95	Excelente
47	421,14	458,43	87	Excelente
48	458,43	495,88	85	Excelente
49	495,88	532,47	92	Excelente
50	532,47	568,45	82	Muy bueno
51	568,45	605,41	89	Excelente
52	605,41	642,14	94	Excelente
53	642,14	682,86	93	Excelente
54	682,86	721,1	88	Excelente
55	721,1	762,13	86	Excelente
56	762,13	800,87	85	Muy bueno
57	800,87	840,09	82	Muy bueno
58	840,09	879,08	91	Excelente
59	879,08	916,52	78	Muy bueno
60	916,52	957,17	80	Muy bueno
61	957,17	1001,98	75	Muy bueno
62	1001,98	1051,63	80	Muy bueno
63	1051,63	1095,99	73	Muy bueno
64	1095,99	1138,32	74	Muy bueno
65	1138,32	1182,41	78	Muy bueno
66	1182,41	1219,36	77	Muy bueno
67	1219,36	1259,11	67	Bueno
68	1259,11	1283,89	82	Muy bueno
			86	**Excelente**

Tabla 16. Resultado obtenido en la inspección visual de la avenida Loja, tramo 2 avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo.

Tramo avenida Don Bosco - avenida 1ero de Mayo				
N° hoja	**Abscisas**		**PCI**	**Calificación**
69	1286,72	1338,26	58	Bueno
70	1338,26	1393,51	53	Regular
71	1393,51	1448,66	54	Regular
72	1448,66	1503,76	23	Muy pobre
73	1503,76	1558,76	53	Regular
74	1558,76	1613,61	56	Bueno
75	1613,61	1668,36	39	Pobre
76	1668,36	1723,71	46	Regular
77	1723,71	1779,21	51	Regular
78	1779,21	1834,11	67	Bueno
79	**1834,11**	**1889,06**	**48**	**Regular**
80	1889,06	1944,11	48	Regular
81	1944,11	1999,11	57	Bueno
82	1999,11	2054,11	24	Muy pobre
83	2054,11	2110,76	14	Muy pobre
84	2110,76	2144,31	44	Regular
			46	**Regular**

Tabla 17. Resultado obtenido en la inspección visual de la avenida Loja, tramo 3 avenida 1ero de Mayo – avenida. 10 de Agosto.

Tramo avenida 1ero de Mayo - avenida 10 de Agosto				
N° hoja	**Abscisas**		**PCI**	**Calificación**
85	2144,31	2194,01	86	Excelente
86	2194,01	2240,86	81	Muy bueno
87	2240,86	2276,81	74	Muy bueno
88	2276,81	2313,26	72	Muy bueno
89	2313,26	2354,96	48	Regular
90	2354,96	2395,96	61	Bueno
91	2395,96	2435,06	44	Regular
92	**2435,06**	**2474,51**	**27**	**Pobre**
93	2474,51	2490,06	64	Bueno
			62	**Bueno**

Los resultados que se han obtuvieron muestran el estado del pavimento de la avenida Loja:

El tramo 1 tiene un PCI total de 86 con una calificación "Excelente", por lo que se puede recomendar un mantenimiento preventivo en general.

Para el tramo 2 se tiene un PCI total de 46 con una calificación "Regular", se puede realizar un mantenimiento mayor junto con la reconstrucción de losas que no cumplen con un correcto desempeño debido a que es el tramo con mayor número de calificaciones bajas.

Finalmente para el tramo 3 se tiene un PCI total de 62 con una calificación "Bueno" se recomienda un mantenimiento menor.

Para un mejor entendimiento se presenta la *Tabla 18*, con resultados que muestran en porcentajes cual es el estado del pavimento en toda su longitud con valores de: número de muestras, calificación y porcentajes obtenidos de la evaluación mediante el software PCI – PC17. Por ejemplo se obtuvo que el 40% de todo el pavimento presenta una condición "Excelente".

Tabla 18. Porcentajes de la calificación mediante el método del PCI-PC17.

N° muestras	Calificación	Porcentaje
37	Excelente	40 %
29	Muy bueno	31 %
10	Bueno	11 %
12	Regular	13 %
2	Pobre	2 %
3	Muy pobre	3 %
93		**100 %**

De igual manera se presenta la *Figura 63* que muestra los resultados obtenidos en la *Tabla 18* por medio de una gráfica de barra con el fin de que se entienda mejor los resultados de la calificación de los 2.5 km de la avenida Loja, se exponen los siguientes resultados en porcentaje: 40% presentan un estado "Excelente", un 31% "Muy Bueno", etc.

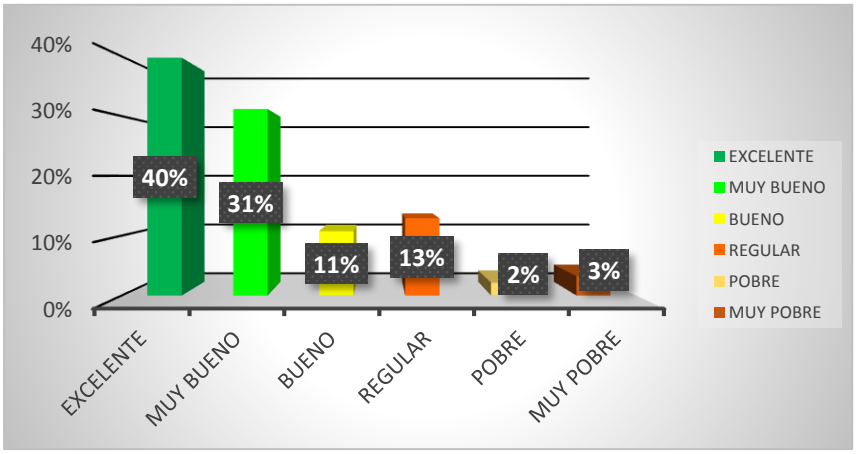


Figura 63. Porcentaje del estado del pavimento mediante el método del PCI-PC17.

3.3.2 Software UnalPCIC

A continuación se presenta en las *Tablas 19, 20, 21* la aplicación del método del PCI utilizando el software UnalPCIC creado por el Ingeniero Luis Ricardo Vásquez para pavimentos rígidos.

Tabla 19. Resultado de evaluación visual de la avenida Loja, tramo 1 avenida de las. Américas – avenida Don Bosco.

(UNalPCI 2016) Tramo av. Américas - av. Don Bosco				
N° hoja	**Abscisas**		**PCI**	**Calificación**
1	0	24,75	97,3	Bueno
2	24,75	63,72	76,9	Satisfactorio
3	63,72	100,1	97,3	Bueno
4	100,1	132,4	50,2	Malo
5	132,4	171,58	89,1	Bueno
6	171,58	207,76	91,4	Bueno
7	207,76	244,41	77,1	Satisfactorio
8	244,41	282,48	84,1	Satisfactorio
9	282,48	320,61	93,7	Bueno
10	320,61	354,08	94,2	Bueno
11	354,08	389,82	96	Bueno
12	389,82	427,11	94,8	Bueno
13	427,11	465,91	84,3	Satisfactorio
14	465,91	498,7	80,8	Satisfactorio
15	498,7	534,74	94,1	Bueno
16	534,74	570,82	82,4	Satisfactorio
17	570,82	608,08	77,2	Satisfactorio

18	608,08	648,67	90,2	Bueno
19	648,67	688,87	69,3	Regular
20	688,87	728,13	100	Bueno
21	728,13	765,16	87,5	Bueno
22	765,16	805,52	82,3	Satisfactorio
23	805,52	843,3	93,6	Bueno
24	843,3	881,04	96,8	Bueno
25	881,04	920,07	89,2	Bueno
26	920,07	964,7	78,7	Satisfactorio
27	964,7	1005,05	63,3	Regular
28	1005,05	1049,7	85,7	Bueno
29	1049,7	1094,41	85,8	Bueno
30	1094,41	1137,39	89,7	Bueno
31	1137,39	1176,55	72,8	Satisfactorio
32	1176,55	1215,82	89,2	Bueno
33	1215,82	1261,22	66,5	Regular
34	1261,22	1286,72	42,3	Malo
			84	**Satisfactorio**

Carril paralelo tramo av. Américas - av. Don Bosco				
35	0	25,85	92,5	Bueno
36	25,85	55,8	87,9	Bueno
37	55,8	87,67	85,5	Bueno
38	87,67	124,88	72,4	Satisfactorio
39	124,88	161,6	91	Bueno
40	161,6	199,59	93,4	Bueno
41	199,59	237,86	92,4	Bueno
42	237,86	271,43	69,7	Regular
43	271,43	309,04	95,4	Bueno
44	309,04	346,58	86,5	Bueno
45	346,58	384,11	73,8	Satisfactorio
46	384,11	421,14	93,6	Bueno
47	421,14	458,43	87	Bueno
48	458,43	495,88	83,7	Satisfactorio
49	495,88	532,47	88,9	Bueno
50	532,47	568,45	80,3	Satisfactorio
51	568,45	605,41	87,8	Bueno
52	605,41	642,14	91,6	Bueno
53	642,14	682,86	92,1	Bueno
54	682,86	721,1	87,6	Bueno

55	721,1	762,13	85,7	Bueno
56	762,13	800,87	84,9	Satisfactorio
57	800,87	840,09	82,4	Satisfactorio
58	840,09	879,08	89,8	Bueno
59	879,08	916,52	77,1	Satisfactorio
60	916,52	957,17	80,2	Satisfactorio
61	957,17	1001,98	73,3	Satisfactorio
62	1001,98	1051,63	78,3	Satisfactorio
63	1051,63	1095,99	70,4	Satisfactorio
64	1095,99	1138,32	73	Satisfactorio
65	1138,32	1182,41	77,1	Satisfactorio
66	1182,41	1219,36	76,8	Satisfactorio
67	1219,36	1259,11	66,9	Regular
68	1259,11	1283,89	80,9	Satisfactorio
			83	**Satisfactorio**

Tabla 20. Resultado de evaluación visual de la avenida Loja, tramo 2 avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo.

(UNalPCI 2016)
Tramo av. Don Bosco - av. 1ero de Mayo

N° Hoja	Abscisas		PCI	Calificación
69	1286,72	1338,26	57,9	Regular
70	1338,26	1393,51	54,6	Malo
71	1393,51	1448,66	53,4	Malo
72	1448,66	1503,76	23,9	Grave
73	1503,76	1558,76	52	Malo
74	1558,76	1613,61	54,6	Malo
75	1613,61	1668,36	39,4	Muy malo
76	1668,36	1723,71	47,3	Malo
77	1723,71	1779,21	49,7	Malo
78	1779,21	1834,11	64,9	Regular
79	1834,11	1889,06	45,4	Malo
80	1889,06	1944,11	47,3	Malo
81	1944,11	1999,11	55,5	Regular
82	1999,11	2054,11	27,2	Muy malo
83	2054,11	2110,76	23,4	Grave
84	2110,76	2144,31	40,2	Malo
			46	**Malo**

Tabla 21. Resultado de evaluación visual de la avenida Loja, tramo 3 avenida 1ero de Mayo – avenida 10 de Agosto.

(UNalPCI 2016) Tramo avenida 1ero de Mayo - avenida 10 de Agosto				
N° Hoja	**Abscisas**		**PCI**	**Calificación**
85	2144,31	2194,01	85,9	Bueno
86	2194,01	2240,86	79,6	Satisfactorio
87	2240,86	2276,81	73,4	Satisfactorio
88	2276,81	2313,26	68,5	Regular
89	2313,26	2354,96	47,5	Malo
90	2354,96	2395,96	61,3	Regular
91	2395,96	2435,06	44,2	Malo
92	2435,06	2474,51	21,8	Grave
93	2474,51	2490,06	63,4	Regular
			61	**Regular**

Los resultados muestran el tramo 1 con un PCI de 83 con una calificación "Satisfactorio", para el tramo 2 se tiene un PCI total de 46 con una calificación "Malo", finalmente para el tramo 3 se tiene un PCI total de 61 con una calificación "Regular".

La *Tabla 22* presenta los resultados con valores de: número de muestras, calificación y porcentajes obtenidos de la evaluación mediante el software UnalPCIC, los porcentajes se obtuvieron en relación al número de formatos de exploración obtenidos, es decir 37 formatos tuvieron la calificación de "Bueno" lo que representa un 40% con respecto a toda la vía.

Tabla 22. Porcentajes de la calificación método del UnalPCIC.

N° muestra	Calificación	Porcentaje
37	Bueno	40%
27	Satisfactorio	29%
11	Regular	12%
13	Malo	14%
2	Muy malo	2%
3	Grave	3%
0	Fallado	0 %
93		**100%**

La *Figura 64* muestra los resultados de la calificación de los 2.5 km de la avenida Loja, teniendo como resultado: 40% presenta un estado "Bueno", un 29% "Satisfactorio", etc.

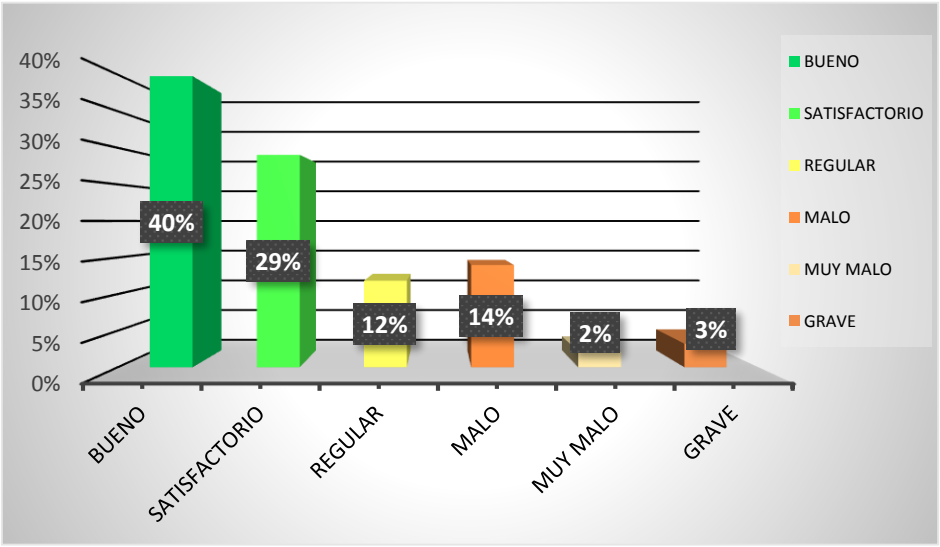


Figura 64. Porcentaje del estado del pavimento mediante el método del UnalPCIC.

A continuación se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los diferentes programas utilizados, mismos que presentaron una leve variación entre sus calificaciones.

Un análisis comparativo permite evitar obviar muestras con resultados representativos, debido a que los deterioros que se presentan en el pavimento no se distribuyen de manera homogénea en toda la losa.

Se presenta una tabla comparativa que resalta la variación de los resultados obtenidos con el software PCI-PC17 y el software UnalPCI, donde se aprecia una diferencia entre las calificaciones de PCI de algunas secciones evaluadas, sin embargo, es importante observar que los resultados son similares y se mantienen dentro de los mismos rangos que se muestran en la *Tabla 6,* manteniéndose la calificación establecida por la norma.

Una vez realizada la evaluación en su totalidad se tiene la T*abla 23*, la cual muestra para cada formato de exploración el mayor valor deducido (DV). Por ejemplo para la *muestra # 17* el mayor valor deducido es *Losa dividida* de severidad *media,* en la muestra *# 79* el mayor valor deducido es *Parcheo grande* de severidad *alta,* por último en la muestra *# 92* el mayor es *Losa dividida* de severidad *alta, etc.*

Tabla 23. Mayor Valor Deducido por cada unidad de muestreo.

N° Muestra	Mayor Valor Deducido de Daño	Tipo de Deterioro	Nivel de Severi dad	Valor PCI	Calificación
1	2,80	Parcheo grande	Bajo	97	Excelente
2	14,80	Grieta de esquina	Media	78	Muy bueno
3	2,80	Parcheo grande	Bajo	97	Excelente
4	33,40	Parcheo grande	Alto	51	Regular
5	7,60	Grieta lineal	Media	89	Excelente
6	4,50	Grieta de esquina	Bajo	92	Excelente
7	16,30	Parcheo grande	Alto	78	Muy bueno
8	11,30	Parcheo grande	Bajo	85	Muy bueno
9	5,10	Parcheo grande	Bajo	93	Excelente
10	6,40	Parcheo grande	Media	94	Excelente
11	2,80	Parcheo grande	Bajo	96	Excelente
12	2,80	Parcheo grande	Bajo	95	Excelente
13	16,30	Parcheo grande	Alto	84	Bueno
14	16,30	Parcheo grande	Alto	81	Muy bueno
15	0,00	Grieta lineal	Bajo	95	Excelente
16	10,40	Losa dividida	Media	83	Muy bueno
17	**10,40**	**Losa dividida**	**Media**	**78**	**Muy bueno**
18	6,40	Parcheo grande	Media	90	Excelente
19	26,60	Parcheo grande	Media	71	Muy bueno
20	*	**	*	100	Excelente
21	15,60	Parcheo grande	Alto	82	Muy bueno
22	16,30	Parcheo grande	Alto	82	Muy bueno
23	4,80	Parcheo pequeño	Media	93	Excelente
24	2,70	Grieta lineal	Bajo	97	Excelente
25	5,10	Parcheo grande	Bajo	92	Excelente
26	14,80	Grieta de esquina	Media	79	Bueno
27	28,70	Parcheo grande	Alto	63	Bueno
28	7,60	Grieta lineal	Bajo	86	Excelente
29	8,70	Parcheo grande	Alto	85	Excelente
30	8,70	Escalonamiento	Bajo	89	Excelente
31	22,90	Parcheo grande	Alto	73	Muy bueno
32	8,20	Grieta de esquina	Media	89	Excelente
33	28,70	Parcheo grande	Alto	67	Bueno
34	41,20	Parcheo grande	Alto	49	Regular
35	6,80	Grieta lineal	Bajo	93	Excelente
36	11,20	Grieta lineal	Bajo	89	Excelente
37	7,80	Grieta lineal	Bajo	87	Excelente
38	12,50	Escalonamiento	Alto	72	Muy bueno

39	7,30	Escalonamiento	Alto	91	Excelente
40	7,60	Grieta de esquina	Media	92	Excelente
41	8,40	Parcheo grande	Bajo	91	Excelente
42	20,50	Parcheo grande	Alto	70	Bueno
43	4,50	Grieta de esquina	Bajo	96	Excelente
44	9,10	Grieta de esquina	Bajo	87	Excelente
45	15,80	Escalonamiento	Alto	75	Muy bueno
46	4,40	Pulido de agregados	*	95	Excelente
47	7,30	Parcheo grande	Bajo	87	Excelente
48	8,50	Pulido de agregados	*	85	Excelente
49	5,20	Grieta lineal	Bajo	92	Excelente
50	10,40	Losa dividida	Media	82	Muy bueno
51	6,80	Pulido de agregados	*	89	Excelente
52	4,50	Pulido de agregados	*	94	Excelente
53	2,80	Parcheo grande	Bajo	93	Excelente
54	7,90	Grieta de esquina	Bajo	88	Excelente
55	7,60	Grieta lineal	Bajo	86	Excelente
56	7,40	Popouts	*	85	Muy bueno
57	7,30	Grieta de esquina	Media	82	Muy bueno
58	5,90	Pulido de agregados	*	91	Excelente
59	7,40	Parcheo grande	Alto	78	Muy bueno
60	10,40	Popouts	*	80	Muy bueno
61	14,20	Popouts	*	75	Bueno
62	13,60	Popouts	*	80	Muy bueno
63	13,50	Grieta lineal	Media	73	Muy bueno
64	14,00	Popouts	*	74	Muy bueno
65	13,60	Popouts	*	78	Muy bueno
66	13,40	Parcheo grande	Alto	77	Muy bueno
67	28,70	Parcheo grande	Alto	67	Bueno
68	10,70	Popouts	*	82	Muy bueno
69	13,80	Parcheo grande	Media	58	Bueno
70	35,10	Grieta lineal	Alto	53	Regular
71	33,40	Parcheo grande	Alto	54	Regular
72	35,10	Grieta lineal	Alto	23	Muy pobre
73	30,40	Losa dividida	Alto	53	Regular
74	30,40	Losa dividida	Alto	56	Bueno
75	33,40	Parcheo grande	Alto	39	Pobre
76	41,30	Losa dividida	Alto	46	Regular
77	30,40	Losa dividida	Alto	51	Regular
78	16,60	Parcheo grande	Bajo	67	Bueno
79	**40,30**	**Parcheo grande**	**Alto**	**48**	**Regular**
80	41,30	Losa dividida	Alto	48	Regular
81	30,40	Losa dividida	Alto	57	Bueno

82	69,70	Losa dividida	Alto	24	Muy pobre
83	82,20	Losa dividida	Alto	14	Muy pobre
84	42,30	Parcheo grande	Alto	44	Regular
85	7,60	Grieta lineal	Media	86	Excelente
86	9,50	Pulido de agregados	*	81	Muy bueno
87	15,90	Grieta lineal	Bajo	74	Muy bueno
88	16,20	Grieta lineal	Media	72	Muy bueno
89	27,30	Losa dividida	Media	48	Regular
90	27,30	Grieta lineal	Media	61	Bueno
91	40,10	Losa dividida	Media	44	Regular
92	**41,30**	**Losa dividida**	**Alto**	**27**	**Pobre**
93	11,80	Grieta lineal	Bajo	64	Bueno

En la *Tabla 24* se presenta los resultados de la evaluación de la condición superficial del pavimento, considerando únicamente los formatos de exploración que presentaron cambios significativos, es decir, 10 formatos de exploración de los 93 presentan diferencias en sus valores de PCI, tomando en cuenta que el software PCI – PC17 usa los términos de calificación de la norma ASTM D6433, mientras que el software UnalPCIC usa los términos de calificación de Shahin (1994) pero ambos consideran los mismos rangos de valores para su calificación.

Tabla 24. Comparación de evaluaciones de la condición superficial del pavimento.

N° muestra	PCI – PC17		UnalPCIC	
	PCI	Calificación	PCI	Calificación
21	**82**	**Muy bueno**	**87.5**	**Bueno**
25	92	Excelente	89,2	Bueno
34	**49**	**Regular**	**42,3**	**Malo**
63	73	Muy bueno	70,4	Satisfactorio
79	48	Regular	45,4	Malo
82	24	Muy pobre	27,2	Muy malo
83	**14**	**Muy pobre**	**23,4**	**Grave**
84	**44**	**Regular**	**40,2**	**Malo**
88	**72**	**Muy bueno**	**68,5**	**Regular**
92	**27**	**Pobre**	**21,8**	**Grave**

Cabe recalcar que el software PCI – PC17 toma en cuenta el área que se está analizando, en cambio el software UnalPCIC no las considera dentro de su análisis.

Se observó que durante el ingreso de datos y posterior obtención de la densidad (%) y valor deducido (DV) existe un 2% de variación entre los dos programas, misma que provoca un cambio en la calificación y rango de las losas analizadas, para una mejor comprensión se muestra a

continuación el formato de exploración #83, en la *Figura 65* se muestra el cálculo según el software PCI – PC17 con valores de DV diferentes a los obtenidos por el software UnalPCIC (*Figura 66*).

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (ASTM D6433-11)

Estacionamiento o Vía:	
Unidad de muestra:	83
Número de losas :	20
Fecha:	29/10/2017
Realizado por:	
Área (m2):	452,07

OBSERVACIONES:

BOSQUEJO:

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD										TOTAL	DENSIDAD(%)	DV FÓRMULAS	DV
LOSA DIVIDIDA	B											0	0,00	0,0	0,0
	M											0	0,00	0,0	0,0
	A	9										9	45,00	82,2	82,2
GRIETAS LINEALES	B											0	0,00	0,0	0,0
	M	3										3	15,00	10,6	10,6
	A											0	0,00	0,0	0,0
PARCHE GRANDE Y ACOMETIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS	B											0	0,00	0,0	0,0
	M	1										1	5,00	2,4	2,4
	A											0	0,00	0,0	0,0
PARCHE PEQUEÑO	B											0	0,00	0,0	0,0
	M											0	0,00	0,0	0,0
	A											0	0,00	0,0	0,0
PULIMENTO DE AGREGADOS		1										1	5	0,4	0,4
POPOUTS															
	M											0	0,00	0,0	0,0

Figura N° 65. Resultado del formato de exploración #83 mediante el software PCI –PC17 *(Peñaloza & Calle, 2017) (Editado por el autor).*

InventariodedañosAVLOJA_PG2000_83.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```
-----------------------------------------------------------------------------------------
Archivo           :          InventariodedañosAVLOJA.csv
Código vía        :          PG2000
Fecha inspección  :          29-10-17
Abscisa inicial   :          K2+054.11
Abscisa final     :          K2+110.76
Unidad            :          083
Losas unidad -un-:           20
-----------------------------------------------------------------------------------------
Daño        (severidad)  Unidad    Cantidad          Densidad(%)    Valor deducible
-----------------------------------------------------------------------------------------
23.Losa dividida    (H) - losa:        09                045.0           071.8
28.Grietas lineales (M) - losa:        03                015.0           011.5
29.Parcheo grande   (M) - losa:        01                005.0           002.9
31.Puli. agregados(LMH) - losa:        01                005.0           000.8

Número de valores deducibles: 4
```

Figura N° 66. Resultado del formato de exploración #83 mediante el software UnalPCIC *(Vásquez, 2002) (Editado por el autor).*

Otra de las diferencias entre estos dos software es la manera de ingreso de los datos obtenidos en campo. Para el software PCI – PC17 se debe ingresar cada formato de exploración para una hoja de Excel diferente, mientras que el software UnalPCIC permite el ingreso de manera directa de todos los datos en una misma hoja de Excel y el programa por si solo genera resultados individuales lo cual mejora la rapidez de procesamiento de información.

Capítulo IV
ALTERNATIVAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO

En este capítulo se generará alternativas para la conservación del pavimento rígido basadas en los deterioros encontrados en la avenida Loja. Es preciso considerar como un aspecto muy importante las causas de cada deterioro mencionado, para proponer la mejor alternativa.

Las fallas en los pavimentos rígidos, se deben principalmente a dos causas (Bilbao, 2014):

- Deficiencia de la propia losa, relacionado con los materiales y agregados.

- Defectos estructurales de la losa, por ejemplo una mala colocación, insuficiente dotación de elementos de transmisión de carga, insuficiente resistencia, alabeo de las losas o mal comportamiento de las juntas de contracción o expansión.

Otra causa de falla es el inadecuado comportamiento estructural del conjunto de losa, subbase, subrasante y terreno de cimentación.

El mantenimiento es un trabajo que resguardará la vida útil del pavimento manteniendo su nivel actual y óptimo limitando los deterioros que se pueden formar con el paso del tiempo.

Las técnicas de mantenimiento se basan en actividades correctivas y preventivas, donde las correctivas reparan el deterioro mejorando la serviciabilidad y funcionalidad del pavimento, en cambio, las preventivas advierten la formación de deterioros manteniendo la serviciabilidad del pavimento. Un mantenimiento general abarca tareas específicas como una sustitución de losa o una reparación parcial de la capa de rodadura como:

- Mantener impermeable la superficie, para evitar el paso del agua hacia las capas inferiores.
- Mantener y renovar la calidad de la capa de rodadura garantizando una buena condición y seguridad.

Según (Bilbao, 2014) existen dos tipos de mantenimiento:

- **Mantenimiento de rutina:** trabajo diario, necesario para mantener y garantizar el correcto funcionamiento y estado del pavimento. Las principales actividades rutinarias son parcheo superficial, parcheo profundo y sellado de juntas.

- **Mantenimiento periódico:** Por lo general son actividades con una prioridad de más de un año. Su objetivo es la prevención de daños, este tipo de mantenimiento se realiza en vías de uso continuo. La principal actividad periódica es el sellado de junta.

En caso de presentarse un pavimento o losa demasiado fallado se recurre a la rehabilitación, misma que clasifica los deterioros en estructurales y funcionales, de ser estructurales busca mejorar la capacidad estructural del pavimento adecuando la vía para el tráfico previsto para su

vida útil y las funcionales busca conservar o mejorar su funcionalidad como: seguridad, vialidad, uniformidad, aspecto, calidad de viaje, en fin busca proteger el pavimento como un solo conjunto.

Si se opta por una rehabilitación estructural se tiene algunas soluciones:

- Eliminación parcial y reposición de la capa de rodadura existente.
- Sobrecapa aplicada sobre el pavimento existente.
- Reconstrucción total del pavimento, utilizando materiales nuevos o aprovechando los materiales reciclados del anterior pavimento.

Determinar el estado en que se encuentra el pavimento es necesario para poder generar alternativas de mantenimiento o rehabilitación; mediante una previa evaluación funcional del pavimento. Sin embargo, cuando se forman deterioros en el pavimento se pierde serviciabilidad y la vida útil del pavimento se ve reducida, es por esta razón que se debe cuantificar el valor de la influencia de cada deterioro.

Antes de generar alternativas para la reparación y mantenimiento del pavimento de la avenida Loja es necesario considerar las posibles causas de los deterioros encontrados junto con una clasificación de los deterioros basados en el nivel de ocurrencia en cada tramo.

La *Tabla 25* muestra un nivel de severidad: *Alta, Media, Baja* y *No Aplica* (cuando no existe ese tipo de deterioro en el tramo); dichos niveles se presentan con colores característicos que reflejan las necesidades de una reconstrucción, un mantenimiento menor o preventivo respectivamente.

Los porcentajes se calcularon de acuerdo al número de veces que se presenta el deterioro en un formato de exploración, se consideró la presencia del deterioro con su severidad por ejemplo: el deterioro de *Grieta lineal* con severidad *baja* en el tramo 1 se presenta en 29 de los 68 formatos de exploración, de esto se obtiene un porcentaje del *43%* que afecta a todo el tramo mencionado.

Tabla 25. Niveles de clasificación de los deterioros en la avenida Loja.

Nivel de severidad	Alternativa
Alta	**Reconstrucción**
Media	**Mantenimiento menor**
Baja	**Mantenimiento preventivo**
No Aplica	**Ninguno**

Grieta de Esquina

La *Tabla 26* presenta el nivel de ocurrencia del deterioro de *Grieta de esquina*, los resultados muestran que el tramo 1, 2 y 3 tienen una severidad *baja* por lo que un mantenimiento preventivo es la mejor opción.

Tabla 26. Nivel de ocurrencia de Grieta de esquina en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	22%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	19%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	33%

Las posibles causas de este deterioro son:

- La repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación.
- Deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que promueve el que se produzcan altas deflexiones de esquina.
- Losas con ángulos agudos.

Losa dividida

La *Tabla 27* muestra el nivel de ocurrencia del deterioro de *Losa dividida* con resultados de un deterioro que se presenta en el tramo 1 y tramo 3 con severidad *baja* y el tramo 2 con severidad *alta* por lo que se recomienda un tipo de mantenimiento preventivo y una reconstrucción con una intervención inmediata para los tramos 2.

Tabla 27. Nivel de ocurrencia de Losa dividida en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	6%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Alta	63%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	56%

Las posibles causas de este deterioro son:

- Repetición de elevadas cargas de tránsito (fatiga).
- Capacidad de soporte deficiente de la losa.
- Deficiencia en el control de calidad del material utilizado.

Grieta de Durabilidad

La *Tabla 28* presenta el deterioro de *Grieta de durabilidad "D"*, cuyos resultados son una severidad *baja* por lo que se recomienda un tipo de mantenimiento preventivo para el tramo 1, 2 y 3 se sugiere un tratamiento preventivo.

Tabla 28. Nivel de ocurrencia de Grieta de durabilidad "D" en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	15%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	56%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	33%

La posible causa de este deterioro es (Miranda, 2012):

- Cuando el concreto no resiste los efectos medio ambientales (hielo – deshielo)

Escalonamiento

En la *Tabla 29* se observa el deterioro de *Escalonamiento* con resultados que muestran un deterioro con severidad *baja,* se recomienda un tipo de mantenimiento preventivo para el tramo 1, 2 y tramo 3.

Tabla 29. Nivel de ocurrencia de Escalonamiento en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	19%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	25%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	11%

Las posibles causas de este deterioro son:

- Falta de libertad en la expansión de las losas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales originando fuerzas de compresión considerables (Miranda, 2010).
- Presencia de un estrato de suelos expansivos a poca profundidad.

Sello de junta

La *Tabla 30* muestra el nivel de ocurrencia del deterioro de S*ello de junta*, se observa que los tramos 1 y 2 presentan severidad *baja,* por lo que un mantenimiento preventivo es la opción adecuada para evitar daños a futuro y para el tramo 3 se recomienda sellado de juntas.

Tabla 30. Nivel de ocurrencia de Dañado del Sello de junta en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	1%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	19%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Alta	11%

Las causas más frecuentes son (Miranda, 2010):

- Endurecimiento por oxidación del material del sellante.
- Pérdida de adherencia con los bordes de las losas, por no realizar la limpieza adecuada antes de su sellado.
- Escasez o ausencia del material de sello.
- Material de sello deficiente que no cumple con las expectativas del pavimento.
- Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.

Grieta Lineal

La *Tabla 31* muestra el deterioro de *Grieta lineal*, con resultados de severidad baja para el tramo 1, por lo que se recomienda un mantenimiento preventivo y para los tramos 2 y 3 se recomienda un mantenimiento menor.

Tabla 31. Nivel de ocurrencia de Grieta lineal en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	43%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Media	88%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Media	89%

Las posibles causas de este deterioro son:

- Excesivas repeticiones de carga (fatiga).
- Ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos.

- Variaciones significativas en el espesor de las losas siendo insuficientes para soportar las cargas.
- Pérdida de soporte de la fundación.
- Cambios de temperatura y humedad.
- Deficiencia en la ejecución de sus juntas longitudinales.

Parcheo Grande

En la *Tabla 32* se observa el porcentaje de ocurrencia del deterioro de *Parcheo grande*, mostrando un solo nivel de severidad *baja* para los tramos 1 y 3, por lo que se recomienda un mantenimiento preventivo, para el tramo 2 según lo observado este tipo de deterioro en su mayoría presenta un deterioro avanzado.

Tabla 32. Nivel de ocurrencia de Parcheo Grande en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	54%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Media	81%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	44%

Las causas más frecuente de este deterioro son:

- En reemplazo por nuevas losas de hormigón el espesor no es similar al del pavimento existente.
- Insuficiente traspaso de cargas en las juntas de contracción.
- Mala construcción o colocación.

Parcheo Pequeño

La *Tabla 33* muestra el nivel de ocurrencia del deterioro de *Parcheo pequeño* con una severidad *baja* para los tres tramos, por lo que se sugiere un mantenimiento preventivo.

Tabla 33. Nivel de ocurrencia de Parcheo Pequeño en la avenida. Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	16%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	19%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	22%

Las posibles causas son:

- Retracción de fraguado del hormigón del parche que lo despega del hormigón antiguo.

Pulido de Agregados

En la *Tabla 34* se puede observar el nivel de ocurrencia del deterioro de *Pulido de agregados* a pesar de estar presente en los 2.5 km en todos los tres tramos, es un tipo de deterioro que no causa mayor daño en la losa.

Tabla 34. Nivel de ocurrencia de pulido de agregados en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco		43%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo		100%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto		100%

Las causas frecuentes son:

- El tránsito produce el desgaste superficial de los agregados de naturaleza degradable, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos.
- Se produce también cuando la fundición del pavimento rígido se realizó en condiciones climáticas desfavorables lluvia, granizo, etc., y no se tuvo las precauciones del caso.
- Cuando el agregado en la superficie llega a ser muy suave al tacto, la adherencia con las llantas de los vehículos se reduce considerablemente.

Popouts (Desprendimientos)

La *Tabla 35* indica el porcentaje de ocurrencia del deterioro de *Popouts*, mostrando que únicamente el tramo 1 presentó este deterior, por lo que se recomienda no descuidar las losas afectadas ya que son origen de un deterioro de descascaramiento.

Tabla 35. Nivel de ocurrencia de Popouts en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco		32%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	No aplica	0%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	No aplica	0%

La causa más frecuente es:

- Exceso de acabado del concreto fresco colocado, dando lugar a que la superficie resulte muy débil frente a la retracción.

Desconchamiento

La *Tabla 36* muestra el nivel de ocurrencia del deterioro de *Desconchamiento* con severidad *baja* para los tramos 1 y tramo 2, por lo que se recomienda un mantenimiento preventivo para evitar que la profundidad del deterioro sea mayor, el tramo 3 no presenta este tipo de deterioro.

Tabla 36. Nivel de ocurrencia de Desconchamiento en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	1%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	13%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	No aplica	0%

Sus posibles causas pueden deberse a:

- El efecto abrasivo que produce el tránsito sobre los pavimentos rígidos de calidad pobre construidos con dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría).
- Falta de control de calidad durante la construcción del pavimento.

Descascaramiento de esquina

La *Tabla 37* muestra el nivel de ocurrencia del deterioro de *Descascaramiento de esquina*, muestra un deterioro con severidad *baja* para los tres tramos, por lo que se recomienda un mantenimiento menor, se puede observar que en el tramo 1 la presencia de este tipo de deterioro es mínimo.

Tabla 37. Nivel de ocurrencia de Descascaramiento de esquina en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	Baja	1%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	19%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	Baja	11%

Las causas que originan este deterioro son:

- Fallas en los diseños de sus juntas, que producen excesivos esfuerzos por las cargas del tránsito.
- Por infiltración de materiales incompresibles.
- Debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado.
- Corte de las juntas inadecuadamente, en tiempos incorrectos y con profundidades excesivas o mínimas.

Descascaramiento de junta

La *Tabla 38* presenta el deterioro de *Descascaramiento de junta* con resultados que muestran una severidad *baja* únicamente presente en el tramo 2, por lo que se recomienda un mantenimiento preventivo.

Tabla 38. Nivel de ocurrencia de Descascaramiento de junta en la avenida Loja.

Tramo	Nivel de severidad	Porcentaje de ocurrencia
Avenida de las Américas - Avenida Don Bosco	No aplica	0%
Avenida Don Bosco - Avenida 1ero de Mayo	Baja	6%
Avenida 1ero de Mayo - Avenida 10 de Agosto	No aplica	0%

Las posibles causas son:

- Esfuerzos excesivos por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales externos.
- Debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta.
- Deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; o, dowels mal alineados en el momento de su construcción, aportando a esto la acumulación de agua a nivel de las juntas.
- Colocación de pasadores mal alineados, empleo de barras de insuficiente diámetro y/o longitud que impiden el movimiento normal de las juntas.

Para la *Tabla 25* se explica cada uno de los tipos de mantenimientos (Peñaloza & Calle, 2017) que se mencionan:

Reconstrucción: Corresponde al reemplazo de losas con una calificación de PCI baja, donde las losas no cumplen con la funcionalidad para la cual fueron diseñadas.

Mantenimiento Menor: Sellado de juntas y grietas, cepillado de la superficie, mejorar el sistema de drenaje, con este mantenimiento se pretende impedir que los deterioros sigan

dañando la estructura interna de pavimento. Dentro de este mantenimiento se considera la rehabilitación para calificaciones de PCI "Regular".

Mantenimiento Preventivo: Es un mantenimiento para losas en un estado excelente que están presentando deterioros pequeños, se busca mantener la vida útil de la vía por mayor tiempo.

A continuación se presentan distintas alternativas para el tratamiento de cada deterioro encontrado, se ha verificado un mal estado en los tres tramos analizados. Cabe indicar que la inspección fue netamente visual lo que bastó para verificar que el tramo 2 tiene mayor deterioro con respecto a los otros dos tramos.

Tras los resultados obtenidos se propone la *Tabla 39* con diferentes tipos de alternativas de reparación para los deterioros encontrados y se indica en que tramos se encuentran los deterioros y las alternativas de reparación a realizar según el tipo de severidad que han presentado.

Por ejemplo para el deterioro de *losa dividida* se observa que está presente en los tres tramos, sin embargo en los tramos 1 y 3 presentan severidad *baja* (*Tabla 27*) por lo tanto se opta por no realizar ningún tipo de reparación tan solo considerar un mantenimiento preventivo, mientras que el tramo 2 presenta daño con severidad *alta* para lo cual se ha decidido una reparación con reemplazo de losa.

Las diferentes alternativas propuestas son (Vásquez, 2002):

Tabla 39. Alternativas de reparación de deterioros de pavimentos rígidos.

Tipo de deterioro	Nivel de severidad	Alternativa de reparación	Alternativa a realizar
Grieta de esquina	***B***	No se hace nada. Sellado de grietas de más de 3 mm.	Tramo 1
	M	Sellado de grietas. Parcheo profundo.	Tramo 2
	A	Parcheo profundo.	Tramo 3
Losa dividida	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M	Reemplazo de la losa.	Tramo 2
	A	Reemplazo de la losa.	Tramo 3
Grieta de durabilidad	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M	Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas.	Tramo 2

	A	Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas. Reemplazo de la losa.	Tramo 3
Escalonamiento	***B***	No se hace nada. Fresado.	Tramo 1
	M	Fresado.	Tramo 2
	A	Fresado.	Tramo 3
Sello de junta	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M	Resellado de juntas.	Tramo 2
	A	Resellado de juntas.	Tramo 3
Grieta lineal	***B***	Sellado de grietas más anchas que 3mm.	Tramo 1
	M	Sellado de grietas.	Tramo 2
	A	Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.	Tramo 3
Parcheo grande	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M	Sellado de grietas. Reemplazo del parche.	Tramo 2
	A	Reemplazo del parche.	Tramo 3
Parcheo pequeño	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M	Sellado de grietas. Reemplazo del parche.	Tramo 2
	A	Reemplazo del parche.	Tramo 3
Pulido de agregados	***B***	Ranurado de la superficie. Sobrecarpeta.	Tramo 1
	M		Tramo 2
	A		Tramo 3
Popouts	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M		
	A		
Desconchamiento	***B***	No se hace nada.	Tramo 1 Tramo 2
	M	No se hace nada. Reemplazo de la losa.	
	A	Parcheo profundo o parcial. Reemplazo de la losa. Sobrecarpeta.	
Descascaramiento de esquina	***B***	No se hace nada.	Tramo 1
	M	Parcheo parcial.	Tramo 2
	A	Parcheo parcial.	Tramo 3

Descascaramiento de junta	***B***	No se hace nada.	Tramo 2
	M	Parcheo parcial.	
	A	Parcheo parcial. Reconstrucción de la junta.	

Una vez establecidas las alternativas de reparación a realizar en la avenida Loja, se procede a explicar los procedimientos que se debe seguir para lograr una adecuada reparación permitiendo mejorar la vida útil del pavimento y brindando una calidad de viaje segura. Entre las alternativas a realizarse se tiene: *sellado de juntas y/o grietas, reemplazo de losa, parcheo profundo y reemplazo de parche,* a continuación se describen sus procedimientos.

Según (Ruiz, 2011) se tiene:

- **Sellado de juntas y grietas**

Para aplicar este tipo de reparación se deberá tener las ranuras de las juntas o grietas limpias de todo material extraño mediante el uso de cepillos de alambre de acero, sierras u otras herramientas, se remueven los restos de sellante antiguo sin afectar el concreto, para garantizar que no ingresen contaminantes hacia el interior de la junta, una vez limpia la junta o grieta se realiza un último barrido con una escobilla de acero para eliminar material suelto, seguidamente se realiza un soplado con aire comprimido.

Este procedimiento se realiza de manera más estricta en casos en los cuales se necesite una adherencia perfecta entre la junta y/o grieta y el sellante. Los bordes exteriores de las juntas transversales deben elevarse para evitar que el material de sellado escurra hacia el extremo de la losa.

Para aberturas *mayores a 13 mm* se recomienda usar un material sellante de asfalto sólido (producto termoplástico), aplicado en caliente.

Para aberturas *mayores de 30 mm* deberán sellarse con una mezcla de arena-emulsión asfáltica teniendo en cuenta que el ancho promedio no exceda los 100 mm, por lo general se usa una mezcla en caliente.

A continuación se presenta tres casos diferentes que necesitan ser intervenidos con este tipo de reparación. Como se puede observar en la *Figura 67* se presenta una grieta longitudinal transversal con un ancho menor a 10 mm.

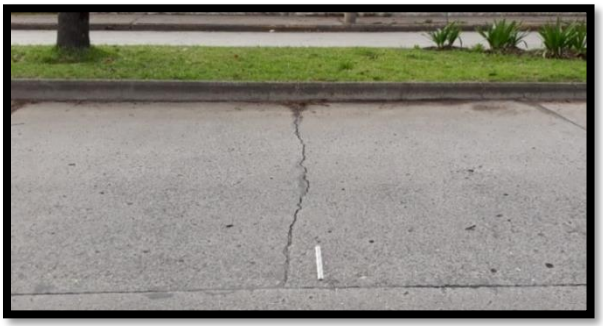


Figura N° 67. Grieta de ancho menor a 10 mm (Tramo 1).

En la *Figura 68* se presenta una grieta transversal y una oblicua con anchos mayores a 12 mm y 30 mm, respectivamente. A simple vista se puede ver que esta losa no ha tenido un mantenimiento adecuado, además presenta material excedente de lo que pudiera ser una anterior reparación.

Figura N° 68. Grietas de anchos mayores a 12 – 30 mm (Tramo 1).

De igual manera la *Figura 69* muestra un déficit de sellante en la junta.

Figura N° 69. Déficit de sellante en la junta (Tramo 2).

- **Reparación en todo el espesor**

Para el reemplazo de una losa, la zona debe aislarse completamente del pavimento adyacente, así se minimizan los daños durante la operación de remoción. De ser necesario se deberá realizar una reparación de la subbase y drenar el agua lluvia quedando el área totalmente aislada, evitando cualquier tipo de daño a la subbase o losa adyacente, de ocurrir algún tipo de daño se deberá reparar quedando perfectamente lisa, para las caras cortadas de las losas deben picarse hasta hacerlas disparejas y rugosas.

En las caras de las losas antiguas se realizará una perforación para la colocación de barras de traspaso de cargas las cuales serán empotradas a la losa antigua, se harán perforaciones horizontales distanciadas cada 600 mm., exceptuando la más cercana al borde, el objetivo de las perforaciones es amarrar las losas antiguas con el nuevo hormigón.

Una vez retirada la losa y limpia la parte de la reparación se utilizará el mismo tipo de hormigón especificado para pavimentos. Para obtener un parche de buena calidad es importante la colocación y terminación que se le dé al hormigón, incluyendo el vibrado.

Las *Figura 70* presenta una losa con un nivel de agrietamiento alto que influye en la funcionalidad de la vía, se recomienda un reemplazo de la losa en su totalidad.

Figura N° 70. Losa presenta deterioro: l*osa dividida, grieta longitudinal, parcheo grande* (Tramo 2).

- **Reparación de espesor parcial**

Antes de definir el proceso de reparación para una losa se debe identificar la zona a remover, en muchos casos el daño es mayor a lo que se observa superficialmente. Por esta razón una vez determinada la condición del pavimento se debe marcar la zona con líneas formando un cuadrado o rectángulo, nunca una figura irregular e inmediatamente se debe realizar un corte con una sierra

alrededor del área a reparar con una profundidad de 50 mm dejando una zona removida, irregular y rugosa.
Para una correcta reparación se debe considerar lo siguiente:

- En este tipo de reparaciones se puede originar nuevas saltaduras en la junta, debido a los esfuerzos, por esta razón se deberá colocar una tablilla o faja de plástico en el hormigón para separar el hormigón nuevo del antiguo.
- La humedad se pierde con rapidez, por lo que se debe realizar un curado adecuado para cada tipo de parche basado en el volumen que se rellenó.
- Se debe impermeabilizar el hormigón nuevo para evitar infiltraciones hacia el hormigón antiguo.

En general, el volumen de hormigón por colocar en estos parches es pequeño, por lo que el hormigón debe prepararse en el mismo lugar, posteriormente colocado y expuesto a vibración, quedando a nivel del resto del pavimento.

Un curado adecuado es extremadamente importante, una vez que el parche haya adquirido suficiente resistencia, se procederá al sellado de la junta reparada, ajustándose a lo dispuesto en las especificaciones para la construcción de pavimentos de hormigón.

La *Figura 71* presenta un parcheo grande deteriorado, en el cual se observa una reparación en pésimas condiciones sin seguir el debido procedimiento anteriormente indicado, es por esta razón que el deterioro vuelve a presentarse pero con una severidad mucho mayor.

Figura N° 71. Losas con un parcheo grande deteriorado (Tramo 2).

- **Cepillado de la superficie**

Esta operación se refiere al cepillado superficial del pavimento rígido, este procedimiento busca minimizar irregularidades, mejorando la serviciabilidad y prolongando la vida útil del pavimento. El

procedimiento elimina el escalonamiento de juntas y deformaciones térmicas. No aumenta la capacidad estructural del pavimento pero, al minimizar los efectos dinámicos de las cargas, permite que la estructura soporte un número mayor de vehículos durante el resto de su vida útil. Este procedimiento debe ser ejecutado terminada todas las actividades de restauración por ejemplo reparación de juntas, cambios de losas, reparación de grietas y otros, salvo el resellado de juntas y grietas que se debe hacer con posterioridad.

El cepillado se ejecuta con una máquina autopropulsada especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie, sin provocar saltaduras en los bordes de las juntas, grietas o en otros lugares. Debe ser revisado periódicamente para asegurarse que está trabajando adecuadamente.
En la *Figura 72* se muestra una losa en la que se deberá realizar el procedimiento de cepillado de la superficie, para eliminar escalonamiento y mejorar la superficie del tramo.

Figura N° 72. La losa presenta: *Escalonamiento, pulido de agregados* (Tramo 2).

Dentro de la generación de alternativas se debe tener presente que existen técnicas menos invasivas y de menor costo para la conservación del pavimento rígido, a continuación se indica otros tipos de alternativas, según (Ruiz, 2011):

- **Estabilización de losas**

Procedimiento que se realiza en losas que presentan deterioros como bombeo, agrietamiento y hundimiento de losas, por lo general se observan en zonas con exceso de carga vehicular, incluso el deterioro tiene un avance más rápido. Por lo general antes de un recapeo asfáltico es necesario realizar este procedimiento si la losa presenta perdida de soporte.

La estabilización de losas consiste en la inyección bajo presión de material debajo de la losa y/o en la subbase con el fin de no levantar la losa, simplemente se busca rellenar los huecos formando una capa delgada que combatirá las deflexiones y el bombeo.

- **Nivelación de losas**

Consiste en el levantamiento de la losa que presenta depresiones, este procedimiento se realiza con el fin de restaurarla a su posición y perfil inicial, evitando una reconstrucción total. Por lo general se presenta e secciones de relleno y sobre alcantarillas.

Para inyectar el mortero que elevará nuevamente a la losa es necesario realizar perforaciones, para este procedimiento se debe simular el levantamiento como un gato hidráulico, para evitar que se fracture se debe controlar la presión en los puntos de inyección.

Tanto para la estabilización y nivelación de losas se usan materiales como: mortero de cemento hidráulico, estabilizantes (filler) y cemento asfáltico, por lo tanto una consistencia firme del mortero garantiza la consistencia, resistencia y durabilidad.

- **Riego de Liga**

Consiste en el suministro, transporte, calentamiento y aplicación uniforme de un producto asfáltico sobre un pavimento (rígido o flexible) existente.

La superficie será cuidadosamente barrida y soplada con equipo adecuado eliminando todo el polvo y material suelto, de ser necesario, se empleará el cepillo manual o la escoba mecánica.

El material bituminoso se aplicará de una manera uniforme y acorde con las condiciones de la superficie a ligar. Este proceso no se deberá realizar en épocas de invierno (lluvia), y las capas de concreto se colocarán con un máximo de 24 horas después de realizado el proceso antes mencionado.

4.1 Reparaciones actuales en la avenida Loja (tramo 2)

Para finalizar con el trabajo de titulación se ha visto necesario indicar algunos deterioros que presentó la vía junto con sus métodos de reparación realizados en la actualidad. Cabe resaltar que las reparaciones realizadas no son adecuadas para combatir los distintos orígenes de los deterioros.

En la *Figura 73* se muestra una losa severamente agrietada por la influencia de varios tipos de deterioros como: *losa dividida, bombeo, parcheo grande;* por lo que la alternativa adecuada será el reemplazo de la losa, sin embargo, se tiene la *Figura 74* que muestra la losa reparada con un parcheo asfáltico, lo que a corto o mediano plazo causará problemas.

Figura N° 73. Losa ubicada en el tramo 2 presenta: losa dividida, bombeo y parcheo grande.

Figura N° 74. Losa ubicada en el tramo 2 presenta: dos parcheos asfálticos.

En la *Figura 75* se observa una losa dividida con severidad alta, cuya reparación adecuada siguiendo la *Tabla 37* es el reemplazo de losa, sin embargo se trata el deterioro con un parcheo asfáltico (*Figura 76*).

Figura N° 75. Losa dividida con severidad alta (Tramo 2).

Figura N° 76. Losa reparada con parcheo asfáltico (Tramo 2).

Se debe tener presente que los procedimientos antes mencionados no deben afectar estructuralmente ni funcionalmente a otras áreas del pavimento. Se deberá contar con un lugar especificó para trasladar los materiales por lo general deben ser botaderos autorizados. Para trabajos que se realicen en una vía en servicio, se deberá contar con todos los materiales para alertar a los usuarios, salvaguardando la integridad de los trabajadores.

CONCLUSIONES

Cumpliendo con el objetivo general del presente trabajo de titulación de los deterioros del pavimento rígido de la avenida Loja se puede concluir lo siguiente:

Inicialmente se realizó una inspección visual en general, misma que a simple vista mostró que la vía a evaluar presentaba reparaciones anteriormente realizadas con técnicas poco apropiadas que en lugar de generar soluciones han provocado otras deficiencias generando dudas sobre si la vía cumple con lo estipulado en las normas con respecto a una correcta reparación.

Para conocer las condiciones del pavimento se empleó el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) por su metodología completa para la evaluación y calificación de pavimentos. Durante la inspección visual se presentó un inconveniente propio del método que pondera todo el tramo de estudio, lo cual puede hacer exclusiones de algunos deterioros con severidades altas, por esta razón se evaluó la avenida en tres tramos considerando un muestreo del 100%. Dentro de la inspección visual se presentaron características específicas que presentan algunos deterioros que se considera importante enunciar:

- La presencia de material sobrante sobre la vía en un 20%, a pesar de no considerarse como un deterioro, si genera inconvenientes en la calidad de viaje.
- Escalonamiento, este deterioro se presenta debido la presencia de los árboles que se encuentran sembrados en el parter.
-

En general, se observó tres tipos de deterioros que han afectado mayormente el área de estudio, los mismos que son: *parcheo grande* en un 60%*, losa dividida* en un 42% y *grieta lineal* en un 70% misma que se origina a partir de la reparación de alcantarillado. A más de estos deterioros se tiene el deterioro *pulido de agregados* en un 81% presente en los 2.5 km, sin embargo para este trabajo no se lo ha considerado relevante debido a su bajo *valor deducido*, además que es un deterioro que no afecta estructuralmente al pavimento.

Para el análisis de los datos se utilizó el software PCI-PC17 y el software UnalPCIC logrando obtener resultados con una variación del 2% entre sus calificaciones finales, no obstante, el software UnalPCIC brindó un mecanismo de mayor rapidez en el ingreso de datos permitiendo obtener resultados individuales, proporcionando un mejor procesamiento de información.

De los resultados obtenidos en los tres tramos de la avenida Loja, se tiene la siguiente calificación (*Anexo A*):

Tramo 1: avenida de las Américas – avenida Don Bosco

- **PCI-PC17**

Carril Derecho (avenida de la Américas – avenida Don Bosco) 84 "*Muy Bueno*"

Carril Izquierdo (avenida Don Bosco – avenida de la Américas) 86 "*Excelente"*

- **UnalPC1C**

Carril Derecho (avenida de la Américas – avenida Don Bosco) 84 "*Satisfactorio*"
Carril Izquierdo (avenida Don Bosco – avenida de la Américas) 83 "*Satisfactorio"*

El *tramo 1* presenta fallas con severidad baja y media encontrándose en un rango entre "Excelente – Bueno" con calificaciones que varían entre los 100 – 55 (PCI).

Tramo 2: avenida Don Bosco – avenida 1ero de Mayo

- **PCI-PC17**

  46 "*Regular*"
- **UnalPC1C**

  46 "*Malo*"

El *tramo 2* presenta fallas de alta severidad, en algunos casos se necesita de un reemplazo de losa por lo cual su rango está entre "Regular – Muy Pobre" con una calificación que varía entre 55 – 10 (PCI).

Tramo 3: avenida 1ero de Mayo – avenida 10 de Agosto

- **PCI-PC17**

  62 "*Bueno*"
- **UnalPC1C**

  61 "*Regular*"

El *tramo 3* presenta fallas con severidad media, aunque no presenta deterioros que requieran una intervención inmediata su calificación se encuentra entre "Muy Bueno – Regular" con una calificación de entre 85 – 55 (PCI).

Partiendo de los resultados obtenidos se puede indicar que no se ha dado un mantenimiento preventivo y/o recurrente, de manera especial al tramo 2, mismo que presenta deterioros que requieren de una reparación en todo el espesor de la losa. Una de las principales causas es la falta de planeamiento sobre medidas de mantenimiento considerando que estas resultarían más económicas que hacer reparaciones costosas a largo plazo.

Cuando se realiza una evaluación es necesaria una pronta intervención, debido a que el pavimento sigue con un deterioro continuo, por esto se determinó las posibles causas que originan los distintos tipos de deterioros y a su vez se propuso técnicas de reparación y/o mantenimiento para preservar la inversión y garantizar un pavimento que se mantendrá en condiciones óptimas.

Dentro de las alternativas planteadas se concluye que la reparación más económica es el *sellado de grietas y juntas*, debido a que este procedimiento ayuda a minimizar el progreso del deterioro. Una vez sellada las grietas se puede colocar una capa de pavimento asfáltico.

Es importante mencionar que al finalizar este trabajo se evidenció que la alternativa de parcheo con material asfáltico es la reparación que se ha venido realizando a varios deterioros de la avenida Loja, sin embargo, esto provoca irregularidades en la vía e inconformidad al transitar, por no cumplir con el procedimiento adecuado.

Cuando se hace referencia a las alternativas propuestas se debe aclarar que se consideró únicamente un estudio funcional, sin que se haya realizado una evaluación estructural como: *estudio de suelos o análisis del hormigón para la capa de rodadura,* debido a la escasez de equipos especializados y costos.

RECOMENDACIONES

Es recomendable inspeccionar las vías en períodos frecuentes para establecer grados de severidad de los deterioros que se vayan originando, con el fin de implementar un plan de mantenimiento preventivo o rutinario. En el caso de la avenida Loja se recomienda con mayor prioridad la evaluación y reparación del tramo 2 debido a la baja calificación obtenida con el método PCI, para evitar que genere más condiciones de peligro por los deterioros de alta severidad que presenta.

Para garantizar una óptima evaluación funcional de la avenida es indispensable que la persona que realizará las inspecciones posea un conocimiento del método y manejo de las normas nacionales con las que debe cumplir una vía para un adecuado funcionamiento.

Se deberá realizar un control durante el procedimiento de reparación de la vía con el objetivo de regular la calidad del trabajo y garantizar que se ha solucionado la causa del deterioro.

Con respecto a la reparación de parcheo con material asfáltico como alternativa tomada debido al alto tráfico de la vía deberá ser re-analizada más detenidamente para considerarse como una alternativa adecuada debido a que es una reparación superficial y no ayuda en la adecuada reparación de todos los deterioros de la vía.

Para trabajos futuros de la vía se recomienda que se use el hormigón con la misma calidad y resistencia del existente, debido a que la mayor cantidad de deterioros que presenta la vía tiene origen a partir de la reparación del alcantarillado. Además, se debería de contar con expedientes técnicos, considerar factores ambientales y tratar de estar a la vanguardia de nuevas técnicas tanto para la construcción como mantenimiento de pavimentos rígidos y/o flexibles.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*, *American Association of State Highway and Transportation Officials.* Washington D.C.
ACPA. (2016). *Historical Concrete Pavement Explorer*. American Concrete Pavement Association.
ASTM D6433 (2003). *Standard Practice for Roads and Parking Lost Pavement Condtion Index Surveys,* American Society for Testing of Materials,'' *ASTM Book of Standards*, West Conshohocken, PA. United States.

Bejarano, C. M. (2011). *Evaluación de pavimento de concreto hidráulico existente en el sector de la estación central ubicado en la calle 26 con avenida Caracas que hace parte de la fase III del sistema de transmilenio de Bogotá.* Bogotá.

Bilbao, D. R. (2014). *Análisis comparativo de costos entre pavimento rígido y pavimento flexible.* Quito.

Board, H. R. (1998). *Standard Nomenclature and Defínitions for Pavement Components and Defciencies.* Washington, D.C.

Bojorque, Ávila & Albarracín. (2015). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Revista Científica MASKANA*.

Brito, C. A. (2011). *Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos.* Sangolquí.

Calo, D. H. (2010). *Diseño de pavimentos rígidos.* Santiago del Estero.

Camposano & García. J. K. (2012). *Diagnóstico del estado situacional de la vía: Av. Argentina - Av. 24 de junio por el método: Índice de condición de Pavimentos.* Huancayo.

Chinguel, G. C. (2014). *Evaluación superficial del deterioro del pavimento de concreto rígido en la avenida Pakamuros de la ciudad de Jaén.* Cajamarca.

Corredor, G. (2004). *Apuntes de Pavimentos.* Caracas.

Corros, Urbáez & Corredor. (2009). *Manual de Evaluación de Pavimentos.* Caracas.

Cote & Villalba, G. L. (2017). *Índice de condición del pavimento rígido en la ciudad de Cartagena de Indias y medidas de conservación.* Cartagena.

Delatte, N. (2008). *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance.* Reino Unido: Taylor & Francis e- Library, 2007.

Fonseca, A. M. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras.* Bogotá: Multilibros.

Gallo, I. M. (2004). *Vías Romanas Ingenieria y Técnica Constructiva.*

Gonzalez & Lozano, E. R. (2005). *Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía acceso al barrio ciudadela del Café - via La Badea.* Manizales.

Hernandez, A. (2011, abril 13). *Introducción a la construcción.* https://es.scribd.com/presentation/261854091/53288094-PAVIMENTOS-ppt

ICPA. (2010). *Pavimentos urbanos de hormigón. Instituto del Cemento Portland Argentino* http://pavimentosurbanos.icpa.org.ar/index.php?IDM=2&alias=caracteristicas-pavimentos-urbanos

IMCYC, I. M. (2015). *Evaluación de pavimentos de concreto. Instituto Mexicano del Cemento Y del Concreto A.C.* México D.F.

IMCYC. (2017). *Diseño de pavimentos flexibles. Instituto Mexicano del Cemento Y del Concreto A.C.* México D.F.

Jiang. (2016). *Long-Term Pavement Performance Program—Pavement Performance Measures and Forecasting and the Effects of Maintenance and Rehabilitation Strategy on Treatment Effectiveness.* Yan "Jane".

Lafarga, R. L. (02 de Febrero de 2009). *Patrimonio Romano de Aragón*. Obtenido de Calzadas Romanas: http://aragonromano.ftp.catedu.es/present.htm

Machuca, W. G. (2014). *Manual práctico de optimización para la revisión de estudio de diseño de pavimentos.* Quito.

Miranda, J. C. (2012). *Deterioros de Pavimentos - Método PCI.* Chile

Miranda, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibes y rígidos.* Valdivia.

Morales, E. W. (2012). *Innovación del método Vizir en estrategias de conservación y mantenimiento de carreteras con bajo volumen de tránsito.* Lima.

NCHRP. (1994). *Sobrecapas de refuerzo de concreto de cemento pórtland*. National Cooperative Highway Research.

Ordóñez, I. G. (2017). *Gestión sostenible del pavimento rígido, flexible y articulado del centro urbano del cantón Girón.* Cuenca.

Peñaloza & Calle. S. G. (2017). *Sistema de gestión sostenible de pavimentos aplicado a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca.* Cuenca.

Ponto, C. (2010). *Apuntes de la materia de pavimentos.* Ecuador.

Rebolledo, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos.* Valdivia.

Rodriguez, A. S. (2011). *Pavimentos rígidos y flexibles.* México.

Rodriguez, Y. E. (2016). *Evaluación de la condición operacional del pavimento rígido, aplicando el método del Pavement Condition Index (PCI), en las pistasdel barrio del Triunfo, Distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, región Ancash.* Huaraz.

Ruiz, C. A. (2011). *Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos.* Sangolquí.

Sabogal, F. S. (2016, 23 Diciembre). *Introducción al diseño de pavimentos.* https://es.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-1-introduccin-al-diseo-de-pavimentos

Salas, M. R. (2016). *Pavimentos de concreto.* Piura.

Salinas, C. R. (2009). *Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja.* Loja.

Sanchez, F. (2014). *Introducción al diseño de pavimentos.*

SHRP (1993). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP-P-338.

Soto, J. S. (2013). *Apuntes de diseño de pavimentos.* México D.F.

Universidad EAFIT. (2001). Índice de fricción internacional. *Bit*.

UPLA. (2014). *Caminos II. Universidad Peruana Los Angeles*. Lima.

Velasquez, E. D. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero.* Piura.

Vásquez, L. R. (2002). *UnalPCIC. Software UnalPCIC para el cálculo automatizado del pavement condition index.* Manizales.

Vásquez, L. R. (2006). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.* Manizales.

Vásquez, L. R. (2015). *Procedimientos de inspección y calificación del pavimento.* Manizales.